



DISEÑO DE UNA PLANTA DE

TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE UN TAMBO

EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES



MANUEL GÓMEZ ROS

TUTORES: DR. AGUSTÍN T. REARTE & ING. RUTH A. RODRIGUEZ



Índice

Resumen.....	3
Capítulo I: Introducción.....	4
Introducción a la problemática	4
Justificación del proyecto	5
Objetivos y alcances del proyecto.....	5
Capítulo II: Marco teórico.....	6
El tambo en la provincia de Buenos Aires	6
Diagnóstico	9
Estudios preliminares.....	9
Proceso productivo.....	9
Ubicación	11
Residuos sólidos	14
Efluentes gaseosos	14
Efluentes líquidos	14
Marco regulatorio	16
Capítulo III: Memoria descriptiva y análisis de alternativas	18
III.I. Pretratamiento	21
III.II. Tratamiento primario	22
III.III. Tratamiento secundario.....	24
III.III. Tratamiento terciario	31
III.IV. Cámara de toma de muestras y medición de caudales.....	34
III.V. Tratamiento de lodos	35
Capítulo IV: Memoria de cálculo de diseño.....	36
III.I Pretratamiento	36
III.II Tratamiento primario	40
III.III Tratamiento secundario	49
III.IV Tratamiento terciario.....	64
III.V. Cámara de toma de muestras y medición de caudales.....	68
III.VI Tratamiento de lodos	69
III.VII Sistema de conducción.....	75
Diseño de cañerías	78
Pérdida de carga en cañerías.....	81
Nivelación de las unidades de tratamiento	85
Sistema de bombeo.....	86
Capítulo V: Cómputo y presupuestos	89
Inversión inicial	89
Alternativa 1	89
Alternativa 2	92
Costos de operación y mantenimiento	95
Alternativa 1	96
Alternativa 2	97
Análisis de factibilidad	99
Financiamiento	100
Selección de alternativa	101
Capítulo VI: Estudio de impacto ambiental	102
Introducción	102

Objetivos y alcance.....	102
Marco legal	103
Marco supranacional	103
Marco nacional	104
Marco provincial	104
Descripción del proyecto.....	105
Etapa de construcción.....	106
Etapa de operación	107
Etapa de cierre	109
Área de influencia	109
Línea de base ambiental.....	110
Medio físico	110
Medio biológico	119
Medio socioeconómico	124
Identificación y evaluación de impactos ambientales	126
Introducción y metodología.....	126
Identificación de acciones del proyecto	128
Identificación de factores del medio.....	129
Matriz de impacto ambiental.....	129
Descripción de los impactos	129
Análisis de riesgos	133
Plan de gestión ambiental.....	134
Medidas para gestionar impactos ambientales	135
Plan de contingencias.....	138
Viabilidad ambiental del proyecto.....	140
Capítulo VII: Planos.....	141
Capítulo VIII: Conclusiones	142
Bibliografía	143
Anexo I	I
Anexo II	V
Anexo III	XVII

Resumen

El presente proyecto es el Proyecto Final Integrador desarrollado para optar por el título de Ingeniero Ambiental en la Universidad Nacional de San Martín. El principal objetivo es desarrollar el diseño de una planta de tratamiento de efluentes líquidos para un establecimiento de producción primaria de leche (tambo) ubicado en el partido de Roque Pérez, provincia de Buenos Aires. El tambo cuenta con 100 son vacas de ordeño, lo que resulta en aproximadamente 2000 litros de leche por día. La planta de tratamiento tiene como objetivo remover los contaminantes presentes en el efluente para asegurar el cumplimiento de los límites de vuelco establecidos en la normativa aplicable.

Los efluentes líquidos generados en el tambo se dividen en dos categorías: cloacales y provenientes de la actividad lechera. Los efluentes cloacales, derivados de baños, vestuarios y oficinas, se calculan en $0,90 \text{ m}^3/\text{día}$ y se incorporan al ecualizador, estimulando la actividad microbiana en el tratamiento secundario. No afectan la calidad del efluente lechero. Los efluentes de la actividad lechera, provenientes de la limpieza de equipos y corrales, contienen altos niveles de cargas orgánicas y nutrientes (nitrógeno y fósforo), lo que requiere un tratamiento adecuado para evitar impactos negativos en cuerpos de agua. El caudal de estos últimos es de $84,30 \text{ m}^3/\text{día}$.

Se analizan dos alternativas para la realización del tratamiento de los efluentes, ambas con sistemas de pretratamiento y tratamiento primario similares, siendo la principal diferencia la unidad de tratamiento secundario (biológico). En el caso de la primera alternativa el sistema de tratamiento biológico se compone de un sistema de lagunas (anaeróbicas y facultativas), lo que corresponde a un sistema tradicional para el tratamiento de estos efluentes. La segunda alternativa cuenta con reactores de tipo *raceway* con microalgas para el tratamiento secundario, lo que resulta una opción más versátil y con potencialidad de generación de un producto comercial a partir de la biomasa algal excedente.

Se realiza el diseño en detalle de cada alternativa para poder realizar la comparación de las mismas. Los criterios de comparación son: remoción de materia orgánica (DBO), remoción de nutrientes (nitrógeno y fósforo), consumo de energía eléctrica, generación de lodos, superficie requerida, inversión inicial, costos de operación y mantenimiento, generación de un producto comercial, dependencia de la temperatura y emisiones de gases de efecto invernadero. En función de estos criterios, la *Alternativa 2*, correspondiente al sistema de microalgas, resulta la más conveniente.

Se realizó un Estudio de Impacto Ambiental (EslA) para la alternativa seleccionada. A partir del diseño y del EslA realizado se concluye que el presente proyecto es viable ambiental, técnica y económicamente.

Capítulo I: Introducción

Introducción a la problemática

El tambo, como establecimiento destinado a la producción de leche, ha sido parte fundamental de la historia agropecuaria de la provincia de Buenos Aires en Argentina. A lo largo del tiempo, los tambos han evolucionado y se han adaptado a las necesidades y demandas cambiantes de la sociedad, incorporando tecnologías cada vez más eficientes para la producción y almacenamiento de la leche.

Los tambos pueden tener diversos impactos ambientales, aunque las principales problemáticas están relacionadas con la gestión de los residuos líquidos generados y la posible contaminación del agua superficial. Los efluentes líquidos generados en un tambo, como las aguas residuales y los desechos de limpieza, suelen contener altos niveles de materia orgánica, nutrientes (como nitrógeno y fósforo) y compuestos químicos provenientes de productos de limpieza y desinfectantes. Si estos efluentes no se gestionan adecuadamente, pueden contaminar los cuerpos y cursos de agua cercanos (incluso acuíferos subterráneos), causando problemas de calidad del agua y afectando a los ecosistemas acuáticos asociados.

El vuelco de efluentes con altas cargas de materia orgánica sobre cursos o cuerpos de agua superficiales puede desencadenar procesos de disminución del oxígeno disuelto, dado que los microorganismos aeróbicos consumen el oxígeno disponible para la degradación de la materia orgánica. Como consecuencia, el oxígeno disuelto es cada vez menor, dificultando el desarrollo de las especies acuáticas nativas del propio curso o cuerpo de agua. Por otra parte, el ingreso de nutrientes como nitrógeno y fósforo puede desencadenar fenómenos de eutrofización, que están asociados a la formación de "floraciones" o proliferaciones masivas de algas que cubren la superficie del agua, bloqueando la entrada de luz solar. Como consecuencia de este proceso es que se ven afectadas las especies fotosintéticas dentro del cuerpo o curso de agua, causando una disminución en el oxígeno producido, y provocando efectos análogos a la presencia de materia orgánica.

Los ecosistemas acuáticos albergan una gran diversidad de especies de plantas, animales y microorganismos que desempeñan roles fundamentales en los ciclos de nutrientes, la producción de alimentos y la estabilidad de los ecosistemas. La contaminación de estos sistemas puede afectar negativamente a estas especies, provocando la pérdida de biodiversidad y alterando el equilibrio natural de los mismos. Además, los cursos y cuerpos de agua superficial poseen fuertes interacciones con las poblaciones residentes tanto en

ciudades como en pequeños asentamientos. Estas interacciones pueden ser de dependencia para la subsistencia, que significa que las poblaciones requieren del agua para desarrollar sus actividades y utilizan el agua para consumo diario o para actividades productivas. Aun así, no es el único tipo de interacción población - agua, dado que los cursos y cuerpos de agua poseen una fuerte influencia sobre la identidad ambiental de las personas que habitan en el territorio, dado que es muy frecuente que los cuerpos de agua superficial desempeñen un papel central en la cultura y la historia de las comunidades locales.

Justificación del proyecto

Este proyecto surge debido a la necesidad de implementar un sistema de tratamiento para los efluentes líquidos generados por un tambo localizado en el partido de Roque Pérez, provincia de Buenos Aires. En la situación actual, el tambo no dispone de ningún método de tratamiento para estos efluentes, los cuales son descargados directamente en el río Salado.

La necesidad de tratar apropiadamente los efluentes generados reside en evitar impactos ambientales negativos sobre los sistemas acuáticos asociados al río y otros cuerpos y cursos de agua de la misma cuenca, y de la necesidad de cumplir con los valores límite para parámetros fisicoquímicos establecidos en la normativa provincial vigente.

Objetivos y alcances del proyecto

El objetivo general del proyecto es diseñar un sistema de tratamiento de los efluentes líquidos del tambo mencionado previamente, garantizando el cumplimiento de la normativa vigente. Se proponen dos alternativas de diseño y, en función de algunos factores determinantes, se decide la opción a desarrollar. Para lograr este objetivo es que se propone una caracterización del efluente generado por el tambo, basada en el análisis de bibliografía preexistente y priorizando las fuentes de información de la región analizada.

Además, se consideran los aspectos sociales y culturales que caracterizan la región para lograr un sistema de tratamiento optimizado para el caso de estudio, con énfasis en la reproducibilidad de este sistema para tambos de la provincia de Buenos Aires. Se incluye el análisis de los costos del proyecto y un Estudio de Impacto Ambiental asociado al desarrollo del mismo.

Capítulo II: Marco teórico

El tambo en la provincia de Buenos Aires

Se denomina *tambo* a los establecimientos ganaderos destinados al ordeño y comercialización de leche de vaca. Esta actividad es característica en el territorio nacional, en particular en algunas regiones de las provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba, Entre Ríos y La Pampa. La provincia de Buenos Aires ocupa el tercer lugar en términos de producción de leche cruda y su contribución proporcional al total nacional, habiendo experimentado una disminución gradual a favor de Santa Fe, que ha aumentado su participación. Dentro de la provincia se pueden identificar cuatro áreas de producción (o cuencas lecheras), siendo el Oeste la más destacada, seguida en importancia por Abasto Sur, Abasto Norte, y finalmente Mar y Sierras (Ordoqui, 2002). La **Figura 1** presenta un mapa de la provincia de Buenos Aires donde se observan las cuatro cuencas lecheras mencionadas.

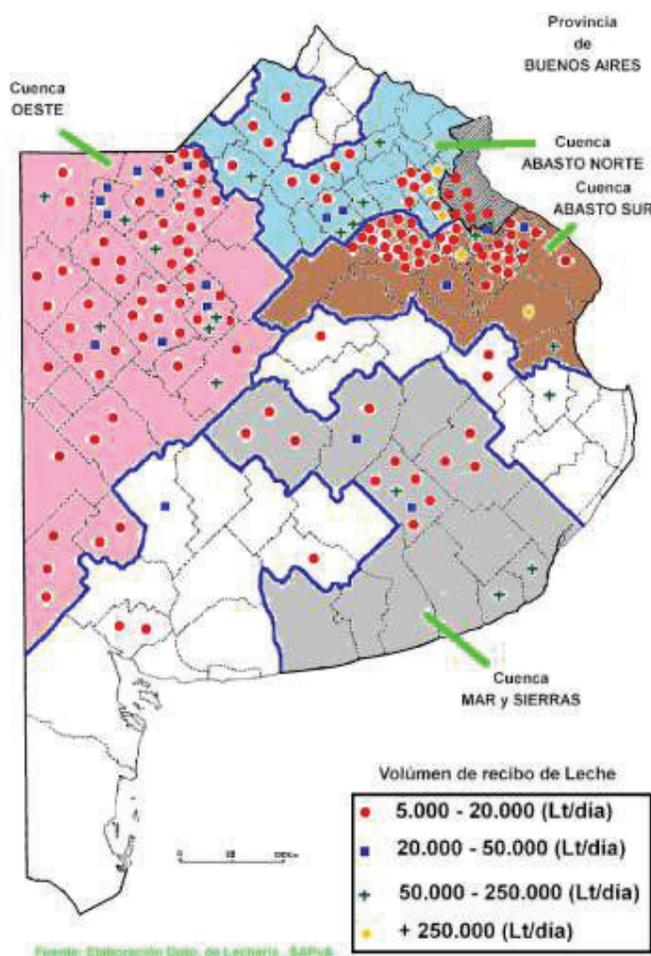


Figura 1: Cuencas lecheras principales de la provincia de Buenos Aires.

Fuente: Buelink et al, 1996.

La producción de leche en la República Argentina se beneficia de dos condiciones que rara vez se encuentran simultáneamente en otras regiones del mundo. Estas condiciones son la capacidad de realizar pastoreo directo durante todo el año, (a menos que se presenten condiciones climáticas extremas), y la disponibilidad de concentrados energéticos y proteicos a precios por debajo de los precios internacionales. Estas condiciones prevalecen en prácticamente todo el país, lo que amplía las oportunidades de producción en casi todo el territorio nacional (Chimicz & Gambuzzi, 2007). Como resultado de estas condiciones, el sector de producción primaria de leche ha ido incrementando su producción a lo largo del tiempo. Esto se observa en la **Figura 2**, donde se presenta la evolución temporal de la producción de leche, evaluada en litros por año producidos entre 1983 y 2022. Las variaciones dentro de cada año no están contempladas en la figura.

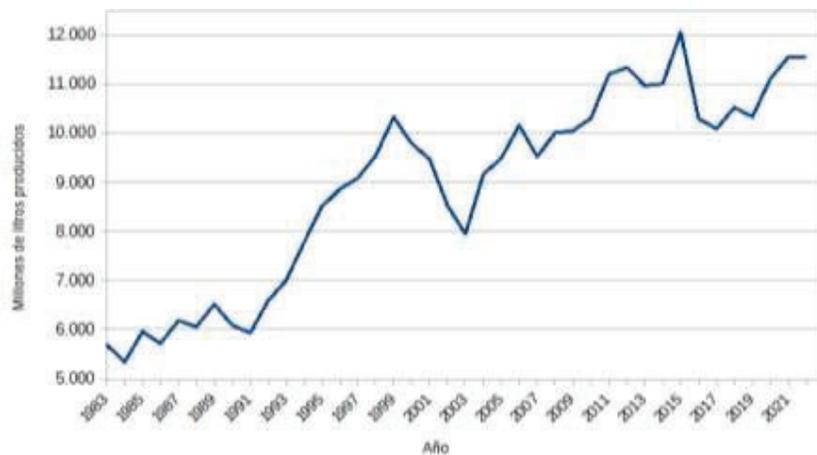


Figura 2: Evolución temporal de la producción de leche en Argentina desde 1983 hasta 2022.
Fuente: Secretaría de Ganadería, Agricultura y Pesca (2023)

Según los datos registrados para el mes de julio del año 2022, el 50,4% de los tambos existentes en Argentina producen menos de 2000 litros de leche por día. En conjunto, la producción de estos establecimientos representa el 15,1% de la producción total del país. Por el contrario, sólo el 4,7% de los tambos producen más de 10000 litros por día, aportando el 26,6% de la producción total nacional (Observatorio de la Cadena Láctea Argentina, 2022).

El escenario actual responde a dos tendencias históricas dentro del sector. Por un lado, la cantidad de tambos existentes en Argentina disminuyó notablemente desde la década de 1980 hasta la actualidad. Esto se ve reflejado en la **Figura 3**, donde se observa que entre los años 1988 y 2002 se produjo una disminución de alrededor de 15000 tambos, lo que representó un descenso de más del 50%. A partir del 2022 se observó una disminución más leve en la cantidad de tambos operativos, que dio lugar a los casi 10200 tambos registrados en 2023.



Figura 3: Cantidad de tambos registrados en Argentina.
Fuente: Observatorio de la Cadena Láctea Argentina (2023).

La segunda tendencia existente relativa a los tambos del país es la disminución en la superficie ocupada. Esta tendencia surge a partir de los años setenta, cuando en diversas regiones del país se inició una transición del modelo agropecuario mixto (que combinaba agricultura y ganadería) hacia un modelo de agricultura permanente. Este cambio implicó la adopción de prácticas como el doble cultivo de trigo y soja, así como el monocultivo de soja. Este proceso se intensificó en las décadas posteriores debido principalmente a los precios favorables de los productos agrícolas y a la simplificación en la producción de la soja, en contraposición a los bajos precios y la complejidad asociada a la ganadería (Castro et al, 2022).

A pesar de las dos tendencias analizadas (la disminución en la cantidad de tambos operativos y la disminución de la superficie dedicada a la actividad), el sector de producción primaria de leche sigue siendo uno de los más relevantes en el país. Esto se debe a que los productores y productoras han sabido adaptarse a las nuevas condiciones, aplicando las tecnologías y conocimientos necesarios para optimizar la producción.

Aun así, cabe destacar que el rendimiento de los tambos no debe ser calificado como el de una empresa privada, dado que la mayoría de los tambos de pequeña escala presentes en el país (que son la mayoría) son la principal actividad y el sostén económico de unidades familiares. Es por esto que los tambos de pequeña escala no se enfocan en maximizar sus ganancias, sino que también tienen objetivos sociales y familiares que tienen una gran relevancia (Chayanov, 1974).

Diagnóstico

El presente proyecto se origina por la necesidad de realizar tratamiento a los efluentes líquidos provenientes de un tambo ubicado en el partido de Roque Pérez, provincia de Buenos Aires. El tambo cuenta con 140 vacas Holando-argentino, de las cuales 100 son vacas de ordeño, lo que resulta en aproximadamente 2000 litros de leche por día. Actualmente el tambo no cuenta con ningún tratamiento sobre los efluentes, sino que son volcados directamente sobre el río Salado. El predio cuenta con casi 21 hectáreas de zonas construidas, que deben dividirse entre zonas para producción y el área destinada al tratamiento de los efluentes.

El tambo es propiedad de una familia, y son los integrantes de la familia los que se encargan de las tareas administrativas necesarias. Además, el tambo cuenta con 10 empleados, que son los encargados de realizar el proceso de ordeño de las vacas, que se realiza mediante el uso de un equipo diseñado para tal fin (ordeño mecánico). Los mismos empleados son los encargados de la limpieza de la maquinaria.

Estudios preliminares

Proceso productivo

La actividad del tambo se basa en el establecimiento y mantenimiento de un rebaño de vacas lecheras. Esto implica la selección de los individuos que forman parte del rebaño y el mantenimiento de la buena salud de los mismos. Cada vaca tiene un período de producción de leche y un período seco. El período de producción comienza unos días luego del parto del ternero, una vez que éste es destetado, y tiene una duración estimada de 300 días. El período seco (donde la vaca no es ordeñada) tiene una duración de aproximadamente 60 días, lo que completa un año calendario. Esto significa que cada vaca tiene un ternero por año, y tiene 4 ciclos de lactancia, es decir, 4 años en los que la vaca es productiva para el tambo. Luego de ese período las vacas no forman parte del proceso productivo y deben ser reemplazadas, ya sea con terneros nacidos en el propio tambo (que aportan alrededor de un 30% del recambio necesario) o con la compra de nuevas vacas (Lesser & Cabona, 1979).

El proceso productivo de un tambo contempla las actividades estrictamente relacionadas con la producción de leche. El tambo analizado se dedica exclusivamente a la producción de leche, sin producción de ningún tipo de derivado. La producción de leche implica cuatro actividades (Glessi & González, 2013):

- I. Traslado de animales y limpieza de las instalaciones

- II. Espera en los corrales para el ingreso
- III. Ingreso a las bajadas de ordeño donde los animales también se alimentan
- IV. Egreso de los animales al corral de salida para ser llevados al campo

Las actividades se desarrollan dentro de las instalaciones que se muestran en la **Figura 4**. La sala de máquinas cuenta con dos máquinas de ordeño, cada una con 18 bajadas. Esto significa que simultáneamente pueden ordeñarse 36 vacas, haciendo que sean necesarios 3 turnos de ordeño para abarcar a la totalidad de las vacas productivas del tambo. Además, el proceso de ordeño se realiza dos veces por día. Si bien el ordeño se lleva a cabo de forma mecánica, el personal del tambo interviene en las tareas de limpieza de las ubres, dado que, antes del ordeño, las mismas se deben limpiar y desinfectar para evitar la contaminación de la leche.

Finalmente, la leche se almacena en tanques de enfriamiento a una temperatura de alrededor de 4°C para preservar su calidad y es recolectada y transportada a una planta procesadora de lácteos o a un centro de acopio.

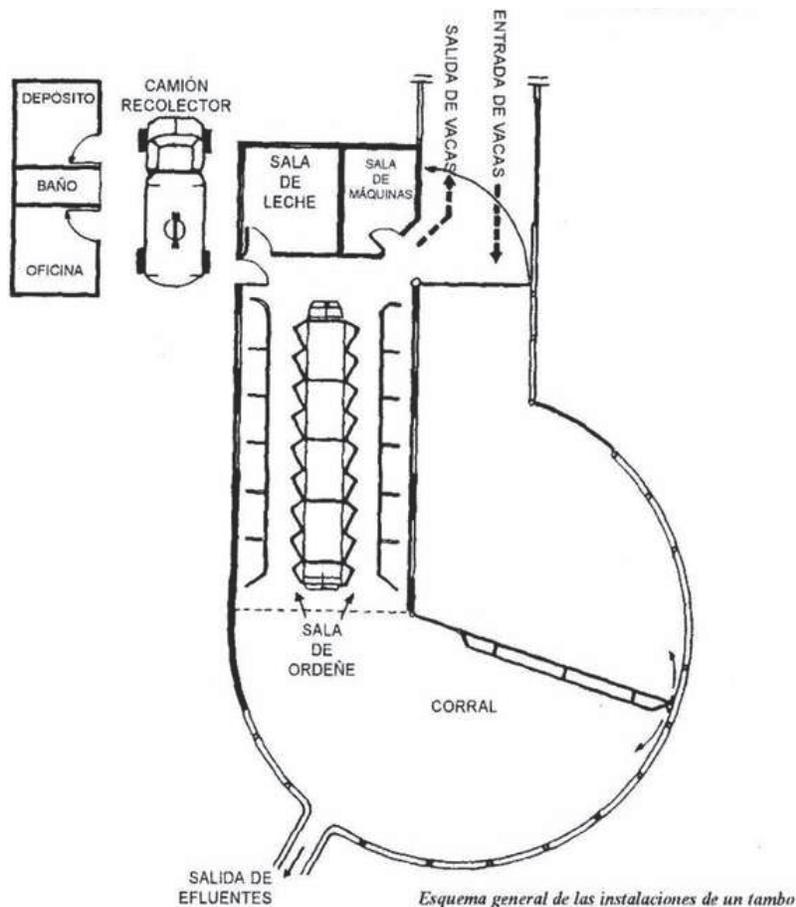


Figura 4: Esquema de las instalaciones para el proceso productivo de leche cruda en el tambo. (Montes Córdoba, 2019)

La obtención de comida para el ganado involucra la producción o adquisición de forraje, pasto y concentrados necesarios para la alimentación del rebaño. El tambo analizado presenta una producción de forraje dentro del predio. Además, se contempla la compra de forraje en determinadas épocas del año, y la compra de suplementos dietarios para completar la alimentación de las vacas y optimizar la producción y la calidad de la leche.

La comida se prepara para cumplir con los requerimientos necesarios para garantizar el bienestar de los animales y la calidad de la leche. Para ello se prepara una mezcla de forraje con suplementos, que puede ser reemplazada por alimento comercial si resulta necesario. Esta provisión de comida sirve para complementar la base de la dieta de los animales, que son las gramíneas que crecen dentro del predio del tambo.

Ubicación

El tambo está ubicado en el partido de Roque Pérez, en la provincia de Buenos Aires. Se encuentra a aproximadamente 8 kilómetros de la ciudad de Roque Pérez y es accesible por una única entrada desde la calle Juan Domingo Perón, que es una calle rural no pavimentada. Se encuentra sobre la orilla del río Salado y cuenta con un total de 112,8 hectáreas, de las cuales 92,3 se destinan a la cría y mantenimiento de ganado. La **Figura 5** presenta una imagen satelital del predio, indicando el área destinada a construcciones (que incluyen producción de leche y tratamiento de efluentes).



Figura 5: Predio del tambo analizado en el proyecto. El área roja corresponde a la superficie construida destinada a producción y el área señalada en negro corresponde a la zona de tratamiento de efluentes. El predio se encuentra en Roque Pérez, provincia de Buenos Aires. Fuente: Elaboración propia utilizando la capa base de Esri World Imagery.

Dado que no existe cobertura de la red cloacal, los efluentes cloacales generados dentro del tambo serán tratados en la misma planta de tratamiento que los efluentes provenientes de las actividades productivas. Esto será desarrollado en secciones posteriores del trabajo.

Roque Pérez constituye uno de los 135 partidos que conforman la provincia de Buenos Aires. Situado en la región noreste de la provincia, se ubica entre los 59° y 60° de longitud oeste y los 35° 38' de latitud sur. Su localidad principal es la ciudad homónima, atravesada por la RN 205 y la RP 30. Según el censo del 2022 el partido cuenta con 13977 habitantes.

El partido de Roque Pérez limita con Lobos al noreste, Monte al este, General Belgrano y Las Flores al sudeste, Saladillo al sudoeste y 25 de Mayo al noroeste. Con una extensión de 1570,93 km², se divide administrativamente en ocho cuarteles, siendo el primero correspondiente a la ciudad cabecera.

En cuanto a la hidrografía, se destacan el Río Salado, el Arroyo Saladillo, el Arroyo Las Flores y el "Canal 16". Estos cuerpos de agua son destinos populares durante los fines de semana, atrayendo visitantes interesados en la pesca deportiva y la práctica de deportes náuticos.

La cuenca del río Salado abarca el sector septentrional de la provincia de Buenos Aires, la parte sur de la provincia de Santa Fe y una pequeña porción de Córdoba, sumando aproximadamente 87,775 km². El río Salado, con una longitud de unos 650 km, desemboca al Río de la Plata en la Ensenada de Samborombón. La cuenca abarca dos ecorregiones principales: los Pastizales de la Pampa Húmeda al este y las Sabanas y Pastizales de la Pampa Semiárida al oeste (Daniele & Natenzon, 1994). La primera se caracteriza por una planicie con relieve ondulado y clima templado cálido, con precipitaciones decrecientes hacia el suroeste. Los suelos son profundos y ricos en nutrientes, con una vegetación predominante de pastizales de altura media y alta. La segunda ecorregión presenta llanuras poco onduladas en el este y mesetas y serranías erosionadas al oeste, con precipitaciones que varían de noreste a suroeste.

El arroyo Vallimanca forma parte de la cuenca y se encuentra en el área de estudio. El mismo nace al sur del partido de Bolívar y recibe contribuciones de varias lagunas, como San Luis, Pay Lauquén y De Juancho, así como de los arroyos San Quilcó y Salado. Su cauce atraviesa campos bajos y forma lagunas semipermanentes, concluyendo en la laguna La Verdosa. El canal N° 16 transporta las aguas del Vallimanca hacia la laguna Las Flores y el río Salado.

La cuenca experimenta inundaciones periódicas, agravadas en las últimas décadas debido a un período más húmedo. Esto ha tenido impactos significativos en la producción agropecuaria y la infraestructura. El sector rural, fuertemente agrícola/ganadero, ha sufrido múltiples perjuicios. En términos hidrológicos, el Salado tiene sus fuentes en lagunas y bañados en Santa Fe, y en Buenos Aires, cruza el partido de General Arenales y recibe afluentes de lagunas en el partido de Junín. La cuenca enfrenta desafíos relacionados con la gestión del agua y las inundaciones, afectando tanto al sector productivo como a la infraestructura urbana y vial.

Existe un Plan Maestro desarrollado por la Provincia de Buenos Aires cuyos objetivos incluyen la reducción de impactos negativos de inundaciones y sequías en la economía de la cuenca, la mejora de las condiciones económicas a través de un desarrollo sostenible, la preservación y desarrollo del valor ambiental, especialmente de humedales, recursos hídricos subterráneos y la calidad del suelo, y la formulación de recomendaciones para un marco institucional eficaz (Gobierno de la Provincia de Buenos Aires, s.f.).

El área de estudio presenta un sistema de acuíferos compuesto por tres secciones distintas: Epipelche-Pampeano (libre-semilibre), Puelche (semiconfinado) e Hipopuelche (confinado). El Epipelche-Pampeano es superficial, relacionado con la superficie y formado por sedimentos finos y limo arcilloso. El Puelche, ubicado debajo del Epipelche, está compuesto por arenas limpias y es semiconfinado. El Hipopuelche, la sección más profunda, contiene aguas salinas y no potables. Se destaca la vulnerabilidad del acuífero freático a la contaminación por factores antrópicos y condiciones meteorológicas, siendo el primero en mostrar efectos de contaminación (Subsecretaría de Recursos Hídricos, 2021).

El Puelche, fuente clave de agua potable, experimenta desequilibrios debido a la intensa explotación, generando problemas como conos depresivos, inversión de gradientes hidráulicos y pérdida de semiconfinamiento. La calidad de los acuíferos se ve afectada por contaminantes como plaguicidas, detergentes, microorganismos patógenos y nitratos, con consecuencias negativas en la calidad del agua superficial y subterránea. La eutrofización, originada por altos niveles de nutrientes, causa impactos en la diversidad, transparencia del agua, y provoca problemas en la potabilidad del agua. En el Noroeste, se observan altos niveles de compuestos nitrogenados y fosforados, atribuidos al escurrimiento agrícola. En general, las áreas de mayor uso intensivo de la tierra, especialmente en las nacientes, facilitan el transporte rápido de contaminantes hacia la cuenca inferior (Subsecretaría de Recursos Hídricos, 2021).

Residuos sólidos

Los residuos generados en los tambos comprenden diversos desechos sólidos, algunos de los cuales son considerados peligrosos. Entre estos últimos se incluyen restos de productos rodenticidas, productos químicos y reactivos, así como residuos de atención veterinaria y animales muertos por enfermedades infecciosas, los cuales son categorizados como peligrosos.

Por otro lado, se encuentran residuos sólidos provenientes de actividades como el mantenimiento de vehículos, excretas de animales, residuos de alimentos, camas, placentas, animales muertos, leche de descarte, silo bolsa, y envases plásticos descontaminados. Estos residuos no son considerados peligrosos (Correa et al. 2016).

Efluentes gaseosos

La actividad del tambo no presenta emisiones gaseosas significativas. De todas formas, debe considerarse que el consumo eléctrico tendrá emisiones de gases de efecto invernadero asociado (según corresponda en la matriz energética nacional). Además, existen emisiones asociadas al cambio de uso del suelo debido a la instalación del tambo, que reemplaza una porción de pastizal natural. De todas formas, el análisis de emisiones gaseosas no forma parte del presente proyecto.

Efluentes líquidos

Los efluentes líquidos generados se componen de dos categorías: aquellos derivados de la presencia de empleados (efluente cloacal) y aquellos que son producto de las actividades propias de obtención de leche. Ambos serán considerados dentro de este proyecto.

Los efluentes cloacales generados en baños, vestuarios, oficinas y áreas comunes requieren tratamiento en la planta correspondiente debido a la ausencia de una red cloacal en la zona de implementación del proyecto. Estos efluentes, producidos por los 10 empleados y los 5 integrantes de la familia propietaria, se calculan utilizando una dotación de 60 litros por persona por día, lo que resulta en un caudal cloacal de 0,9 metros cúbicos por día (0,075 metros cúbicos por hora durante las 12 horas de operación del tambo). Debido al bajo caudal, esta corriente se incorpora directamente al equalizador, y logra estimular la actividad de los microorganismos presentes en el tratamiento secundario. El efluente cloacal no afecta los parámetros del efluente proveniente de las actividades propias del tambo.

También existen los efluentes líquidos provenientes de la actividad lechera, que resultan de la limpieza de los equipos de ordeño y corrales, incluyendo una fracción líquida con residuos de orina y leche, así como una fracción sólida compuesta por heces, restos de alimentos y tierra. Estos efluentes se caracterizan por presentar cargas orgánicas elevadas y contar con altas concentraciones de nutrientes (principalmente nitrógeno y fósforo). Ambos compuestos tienen efectos negativos considerables si son volcados a un cuerpo o curso de agua superficial, por lo que se requiere un tratamiento que esté enfocado en los mismos. Si bien puede generarse leche de descarte durante la operación del tambo, esta no está considerada en el diseño debido a su bajo caudal.

En la **Tabla 1** se presentan los parámetros fisicoquímicos relacionados con el efluente. Los mismos fueron obtenidos a partir de un análisis de bibliografía, que se encuentra detallado en la **Tabla A 1** del Anexo I. Existe una alta variabilidad entre fuentes de información, producto de la heterogeneidad en las prácticas realizadas en esta actividad. Es por esto que se priorizaron los valores presentados por Glessi & González (2013) debido a que su estudio se realizó sobre un tambo argentino.

Tabla 1: Parámetros fisicoquímicos del efluente analizado. Obtenidos a partir de bibliografía.

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal	3,54	m ³ /h
Caudal unitario (por vaca productiva)	35,13	l/h/cabeza productiva
Demanda Química de Oxígeno - DQO	3414,34	mgO ₂ /l
Demanda Biológica de Oxígeno - DBO	1452,85	mgO ₂ /l
Sólidos Suspendidos Totales - SST	208,00	mg/l
Nitrógeno total - NT	120,17	mg N/l
Amonio - NH ₄ ⁺	58,61	mg NH ₄ ⁺ /l
Fósforo Total - PT	27,68	mg P/l
Fósforo Reactivo Soluble - FRS	17,50	mg/l
Sustancias solubles en éter etílico - SSEE	35,00	mg/l
pH	7,64	UpH

El valor del caudal se extrajo del estudio de Glessi & González (2013), dado que, si bien el valor es significativamente más elevado que las otras fuentes disponibles, se considera que es el más representativo de la actividad tambera en la zona de estudio. Es por esta razón que se considera ese valor y no un promedio de todos los valores obtenidos. Debe tenerse en cuenta que el valor reportado se multiplica por las 100 vacas de ordeño que se encuentran en el tambo analizado.

Análogamente, la demanda química de oxígeno (DQO) fue extraída del estudio mencionado previamente. Si bien el valor promedio de todos los valores hallados no difiere significativamente del propuesto por Glessi & González, se considera que este último representa mejor las características del efluente analizado en el presente trabajo.

La demanda biológica de oxígeno (DBO) reportada en la Tabla 1 corresponde al promedio de los cuatro valores hallados para este parámetro. Las diferencias entre estos valores implican que el error asociado a este dato puede ser considerable. Aun así, se considera que el valor es representativo, debido a la falta de información local.

Tanto los sólidos totales (ST) como los sólidos sedimentables (Ssedim) fueron extraídos del estudio de Glessi & González (2013). En el caso de los sólidos totales, el valor seleccionado se consideró más representativo que el promedio obtenido, dado que otros valores reportados en otros estudios resultaron ser considerablemente más elevados. Por otro lado, el valor de sólidos sedimentables resultó ser el único disponible.

Los nutrientes reportados (nitrógeno total y fósforo total) son valores promedio calculados a partir de las fuentes de información disponibles. Para ninguno de estos valores se contó con fuentes de información locales. Lo mismo es válido para el valor de pH, que es el promedio de las tres fuentes de información consideradas. Se incluyeron los valores de amonio (promedio de tres fuentes) y de fósforo reactivo soluble (Hamoda & Al-Awadi, 1995) dado que son los nutrientes que se encuentran biodisponibles.

Por último, es importante destacar que, en caso de llevar a cabo el proyecto, se recomienda realizar una caracterización del efluente generado por el tambo analizado. Esto permitirá verificar que los parámetros se encuentren en el mismo rango de magnitudes que se asumió inicialmente a partir de la revisión bibliográfica.

Marco regulatorio

Debido a que el proyecto se desarrolla en el partido de Roque Pérez, que está en la provincia de Buenos Aires, la normativa actual sobre vertidos que se aplica es la Resolución 336/03 de la Autoridad del Agua (ADA). En la **Tabla 2** se detallan los límites de descarga a cuerpos de agua superficiales establecidos en esta resolución para los parámetros de la caracterización fisicoquímica. El valor límite de los Sólidos Suspendidos Totales (SST) se extrajo de la Resolución 283/19 de ACUMAR debido a que la resolución 336/03 de la ADA no establece un límite para este parámetro.

Tabla 2: Valores límite para el vuelco de efluentes sobre cuerpos de agua superficiales.
Fuente: Resolución N° 336/03 de la Provincia de Buenos Aires.

Parámetro	Valor límite / Rango	Unidad
Demanda Química de Oxígeno - DQO	≤ 250	mgO ₂ /l
Demanda Biológica de Oxígeno - DBO	≤ 50	mgO ₂ /l
Sólidos Sedimentables 10 min	Ausente	
Sólidos Sedimentables 2 horas	≤ 1,0	ml/l
Sólidos Suspendidos Totales - SST*	≤ 35	mg/l
Nitrógeno total - NT	≤ 35	mg N/l
Fósforo Total - PT	≤ 1,0	mg P/l
SSEE	≤ 50	mg/l
pH	6,5 - 10	UpH

* Resolución 283/19 de ACUMAR

A partir de la comparación entre la **Tabla 1** y la **Tabla 2** se observa que los únicos parámetros que se encuentran en un rango aceptable son el pH y las sustancias solubles en éter etílico (SSEE). Esto indica que el tratamiento a desarrollar debe enfocarse en la remoción de la materia orgánica, las partículas sólidas presentes en el efluente crudo y los nutrientes (nitrógeno y fósforo).

Capítulo III: Memoria descriptiva y análisis de alternativas

En el presente capítulo se realiza la descripción de las alternativas desarrolladas para el tratamiento de las aguas residuales. Se desarrollan dos alternativas, ambas ajustadas a las necesidades locales, no sólo a los requerimientos legales para los parámetros del agua, sino también considerando la condición económica y social regional y la disponibilidad de terreno. Finalmente se selecciona una de las alternativas, que será detallada en el capítulo siguiente.

Para la preselección de las alternativas se elaboró una serie de criterios. Las alternativas desarrolladas debían cumplir con:

- Contar con capacidad comprobada para eliminar los contaminantes exigidos por la legislación vigente
- Que existan experiencias previas o casos aplicados en la región de estudio
- Que sean compatibles con las prácticas habituales de manejo del agua en el tambo
- Que los costos y los requerimientos técnicos no representen una barrera para su implementación del sistema de tratamiento

Considerando estos criterios se seleccionaron dos sistemas de tratamiento como referencia, a partir de los cuales se desarrollan las alternativas del proyecto. Los sistemas de referencia son:

1. Sistema de lagunas propuesto por el INTA

El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria sugiere un sistema de tratamiento para efluentes de tambo basado en la instalación de un tren de lagunaje. El mismo se compone de una laguna anaeróbica y dos lagunas facultativas. Los tratamientos primarios y terciarios serán ajustados en función de las características del efluente analizado.

2. Sistema de tratamiento con microalgas

El sistema de tratamiento con microalgas se basa en la instalación de reactores tipo *raceway* para el cultivo de las algas y la generación del consorcio microalgas-bacterias que da lugar a la degradación de la materia orgánica. Actualmente existe un sistema implementado en la provincia de Buenos Aires para el tratamiento de efluentes cloacales. Diseñando correctamente el tratamiento primario y terciario es posible contemplar estos reactores biológicos para el efluente de interés del presente trabajo.

A partir de la caracterización del efluente fue posible diseñar dos alternativas de tratamiento para un caudal de generación de 85,20 m³/d (una a base de sistemas de lagunas y la otra a base de un sistema con microalgas) que se detallan a continuación. El tren de tratamiento de la primera alternativa comienza con un ecualizador para garantizar un caudal constante al sistema de tratamiento biológico. Dentro del ecualizador se propone la instalación de un canasto en la desembocadura de la tubería que transporta el efluente, cuya función es la de retención de sólidos de gran tamaño. Esta etapa constituye el pretratamiento. En el tratamiento primario propuesto en esta alternativa, el efluente ingresa a un sedimentador con el fin de remover los sólidos sedimentables del sistema. Tanto el pretratamiento como el tratamiento primario tienen la principal función de hacer que las aguas residuales sean aptas para un tratamiento biológico posterior (Eckenfelder, 2000). El tratamiento secundario consta de tres lagunas, la primera de ellas anaeróbica para remover la mayor cantidad de carga orgánica posible y las dos siguientes facultativas para lograr alcanzar los límites permisibles en cuanto a DBO y DQO. Finalmente, para la remoción de los nutrientes remanentes en el efluente se propone la instalación de un humedal artificial, seguido de una cámara de cloración previo al volcado del efluente al río.

La segunda alternativa comienza, al igual que la primera, con un ecualizador que cuenta con un canasto para retención de sólidos de gran tamaño. El tratamiento primario está compuesto por un sistema de coagulación-floculación, seguido de un sedimentador primario. En esta alternativa la etapa de coagulación-floculación resulta necesaria para minimizar la concentración de sólidos suspendidos en los reactores biológicos, dado que dependen del ingreso de luz solar. Una vez que el efluente se encuentra con la menor cantidad de sólidos suspendidos posible, ingresa al tratamiento secundario, que está compuesto por dos reactores tipo *raceway* donde se somete a tratamiento por microalgas. El efluente tratado es desinfectado mediante una laguna de maduración y vertido al río. La biomasa excedente del tratamiento algal es aprovechada para la realización de un bioestimulante vegetal. Ambas alternativas planteadas contienen una cámara de toma de muestra y medición de caudal, y un sistema de tratamiento de lodos. También se diseña el sistema de conducción y propulsión.

En ambos casos el efluente cloacal proveniente de la operación de las instalaciones es incorporado directamente al ecualizador primario. Esta decisión se basa en la relación que existe entre los caudales, dado que el caudal del efluente cloacal representa menos del 1% del caudal proveniente de las actividades del tambo. Además, no presenta características que afecten significativamente la composición del efluente resultante de la mezcla. En ambas alternativas se instala una Cámara de Toma de Muestras y Medición de Caudales (CTMyMC). En la **Figura 6** se ilustran las dos alternativas diseñadas para el efluente analizado.

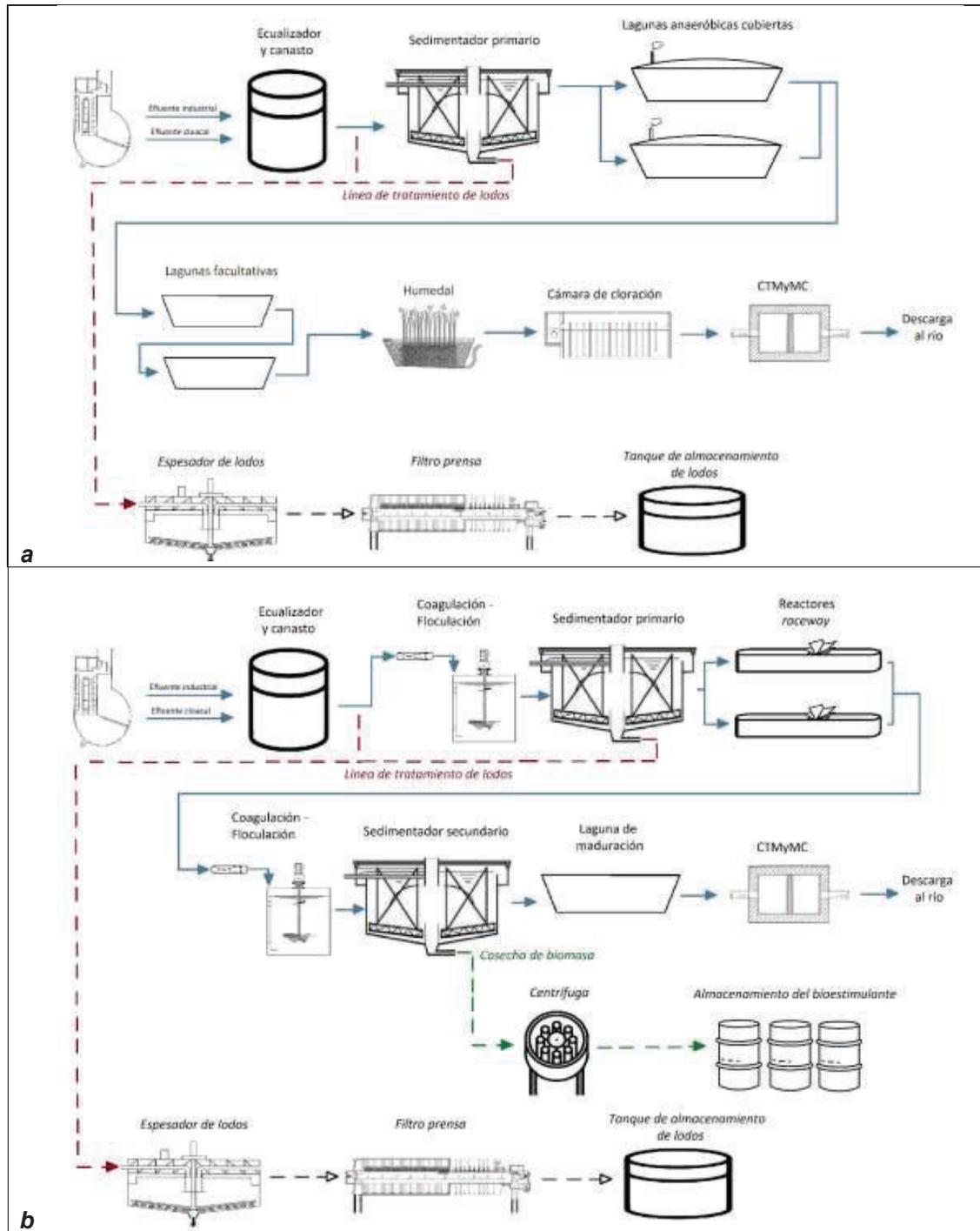


Figura 6: Diagrama de proceso para las dos alternativas diseñadas para el efluente analizado. a. Alternativa 1: Lagunas controladas. b. Alternativa 2: Sistema con microalgas.

III.I. Pretratamiento

Canasto para retención de sólidos

La función del canasto es retener sólidos gruesos, como residuos sólidos y objetos grandes que puedan estar presentes en el agua residual. Funcionan como una barrera física que atrapa los sólidos indeseados, evitando que ingresen a las etapas posteriores del tratamiento. Esto es importante porque la presencia de estos sólidos podría obstruir o dañar equipos más sensibles que se utilizan en etapas posteriores del proceso de tratamiento. Por lo tanto, las cestas o filtros desempeñan un papel crucial al garantizar que el agua que se somete a tratamientos posteriores esté lo más limpia posible.

Se diseña según el tamaño de los sólidos que se desea retener, siendo en este caso una malla de entre 10mm de apertura, ya que se busca la retención de sólidos grandes y medianos. El canasto tiene sección cuadrada de 0,5m de lado y 0,6m de altura, lo que facilita su manipulación. El caudal y la concentración de sólidos determinan la frecuencia de limpieza del canasto. Se cuenta con un malacate manual para retirar los sólidos acumulados.

Ecuador

El objetivo de esta etapa es nivelar las fluctuaciones en el flujo y la carga contaminante del efluente antes de las etapas de tratamiento subsiguientes. Su objetivo es mejorar la uniformidad del flujo de agua que ingresa a la planta de tratamiento, lo que ayuda a garantizar una operación más estable y eficiente de toda la instalación. La instalación de un ecualizador tiene numerosos beneficios asociados. Uno de los beneficios es la optimización del tratamiento biológico posterior, dado que se reducen las cargas de choque, las sustancias que afectan a los microorganismos se diluyen y el pH se estabiliza. Además, la calidad del efluente y el rendimiento de los tanques de sedimentación secundaria después del tratamiento biológico se mejoran mediante una mayor consistencia en la carga de sólidos (Metcalf & Eddy, 2003).

En este caso se opta por un tanque ecualizador de nivel variable, dado que el objetivo es garantizar un caudal de salida que sea constante y facilite el diseño de las unidades posteriores. Esto significa que el nivel dentro del tanque de ecualización no será constante, y variará según los ingresos de efluentes que reciba. Se optó por una geometría cilíndrica, con 2m de diámetro y 4,5m de alto, resultando en una superficie de 12,57m², con una densidad de difusores de aire de 0,5 difusores por metro cuadrado. El modelo de difusores es el CB-300 y de soploadores el R200, ambos de la marca Repicky. Para suministrar a los soploadores (que operan a 2900 rpm) se requiere una potencia de 1,04 kW. En esta unidad se encuentra la primera bomba del sistema.

III.II. Tratamiento primario

Unidad de coagulación - floculación

La coagulación - floculación es un proceso que se utiliza para eliminar materiales de desecho en forma suspendida o coloidal. Los coloides son partículas que tienen un tamaño que va desde 1 micrómetro (10^{-6} m) hasta 0,1 micrómetros (10^{-7} m). Estas partículas no se asientan al reposar y no pueden ser eliminadas mediante procesos de tratamiento físico convencionales (Eckenfelder, 2000). El proceso completo de tratamiento de coagulación - floculación se puede dividir en dos procedimientos distintos que deben aplicarse de manera consecutiva.

El primero es la **coagulación**, que es el proceso mediante el cual se produce la desestabilización de una suspensión coloidal o solución dada. La función de la coagulación es superar los factores que promueven la estabilidad de los coloides, y se logra con el uso de productos químicos apropiados, conocidas como agentes coagulantes. La coagulación generalmente se completa en un período muy corto de tiempo (alrededor de 10 segundos), mientras que la floculación ocurre generalmente durante un período de 20 a 45 minutos para garantizar la formación de los flóculos (Tzoupanos & Zouboulis, 2008). Debido a que el volumen requerido para esta cámara es menor a 1m^3 , se optó por instalar mezcladores estáticos. Se requieren 3 unidades de mezcladores, cada una con 6 elementos fijos (de 620mm de largo cada unidad), resultando en una longitud total de 1,86m. El coagulante a utilizar es el hidróxido de calcio, y se requieren 41,75kg/día del mismo.

La **floculación** se refiere a la inducción de partículas desestabilizadas para que se unan, entren en contacto y, de esta manera, formen grandes aglomerados que pueden separarse más fácilmente, generalmente mediante la sedimentación por gravedad. El volumen calculado para esta unidad es de $1,78\text{m}^3$, que corresponde a una geometría cilíndrica de 1,31m de diámetro y 1,57m de altura (con 1,31m de altura mojada). Además, se contempla la instalación de una turbina de 40cm de diámetro rotando a 0,57 rps, con una disipación de potencia de 1,37W. El flujo del efluente en ambas unidades es por gravedad.

El grado de clarificación obtenido cuando se añaden productos químicos al agua residual sin tratar depende de la cantidad de productos químicos utilizados, el tiempo de mezcla y el cuidado con el que se monitorea y controla el proceso. Con la precipitación química, es posible eliminar del 80 al 90 por ciento de los sólidos suspendidos totales (SST), incluyendo algunas partículas coloidales, del 50 al 80 por ciento de la DBO y del 80 al 90 por ciento de las bacterias. Los valores de eliminación comparables para tanques de sedimentación

primaria bien diseñados y bien operados, sin la adición de productos químicos, son del 50 al 70 por ciento de los SST, del 25 al 40 por ciento de la DBO y del 25 al 75 por ciento de las bacterias (Metcalf & Eddy, 2003).

Sedimentador primario

El objetivo de este proceso de sedimentación es eliminar los sólidos fácilmente sedimentables y el material flotante, y así reducir el contenido de sólidos en suspensión. La sedimentación primaria se utiliza como un paso preliminar en el posterior procesamiento del agua residual. El propósito de la sedimentación es eliminar una parte sustancial de los sólidos orgánicos que de otro modo se descargarían directamente en las aguas receptoras. En este caso este sistema se incorpora luego de una cámara de coagulación-floculación, por lo que los sólidos depositados serán los flóculos logrados en la unidad previa.

Casi todas las plantas de tratamiento utilizan tanques de sedimentación con limpieza mecánica de diseño con sección circular o rectangular estandarizado. La selección del tipo de unidad de sedimentación para una aplicación específica depende del tamaño de la instalación, las normativas de las autoridades locales de control, las condiciones locales del sitio y la experiencia y el criterio del ingeniero (Metcalf & Eddy, 2003).

Según la naturaleza de los sólidos presentes en la suspensión, la sedimentación puede clasificarse en tres categorías: sedimentación discreta, floculenta y por zonas. En la sedimentación discreta, la partícula mantiene su individualidad y no cambia de tamaño, forma o densidad durante el proceso de sedimentación. La sedimentación floculenta ocurre cuando las partículas se aglomeran durante el período de sedimentación, lo que resulta en un cambio en el tamaño y la velocidad de sedimentación. La sedimentación por zonas implica una suspensión floculada que forma una estructura enrejada y se sedimenta como una masa, mostrando una interfaz distintiva durante el proceso de sedimentación. La compactación del lodo sedimentado ocurre en todos los procesos de sedimentación (Eckenfelder, 2000). Debido a que esta unidad se encuentra luego de un proceso de coagulación y floculación, la sedimentación es del tipo floculenta.

Esta unidad presentó un volumen total de $9,23\text{m}^3$, con una altura total de 3,89m y un diámetro de 1,9m. Estas dimensiones contemplan las zonas de sedimentación y de lodos. Las eficiencias de remoción de los contaminantes en esta unidad varían según la alternativa, dado que en la *Alternativa 2* este proceso es la continuación de las unidades de coagulación y floculación, lo que incrementa significativamente las eficiencias de remoción. El flujo del efluente en esta unidad está determinado por la gravedad.

III.III. Tratamiento secundario

Las alternativas propuestas comprenden dos tipos de tratamiento biológico (o tratamiento secundario). Por un lado, se propone la instalación de lagunas de estabilización. Las lagunas de estabilización son un método común de tratamiento de aguas residuales orgánicas cuando hay suficiente espacio disponible (Eckenfelder, 2000). Por otro lado, se propone la instalación de un reactor *raceway* con microalgas. En ese caso el consorcio de microalgas y bacterias se encarga de la eliminación de los contaminantes del efluente. Además, puede cosecharse el exceso de biomasa para la elaboración de diversos productos. El flujo dentro de todas las unidades de tratamiento secundario es por gravedad.

Laguna anaeróbica

Dentro de las lagunas anaeróbicas suceden procesos biológicos donde se produce principalmente la formación de ácidos orgánicos seguida de la fermentación metánica, similar a lo que ocurre en los tanques de digestión anaeróbica. La profundidad de un estanque anaeróbico se elige cuidadosamente para proporcionar una relación óptima entre área de superficie y volumen, lo que garantiza una retención máxima de calor durante el clima frío. Además, estos estanques también se diseñan para maximizar la retención de sedimentos y facilitar la separación de los sólidos acumulados durante el proceso (Eckenfelder, 2000).

Para garantizar la continuidad del tratamiento, se diseñan dos lagunas que operarán en paralelo. Durante condiciones normales, cada laguna recibirá la mitad del caudal de diseño. Durante períodos de limpieza o mantenimiento de una de las unidades, la otra laguna recibirá la totalidad del caudal. La limpieza se realizará con las lagunas vacías, utilizando equipos específicos que serán alquilados cada cinco años. Ambas lagunas se diseñaron con las mismas dimensiones, contando con 50m de largo y 20,50m de ancho y 3m de profundidad, lo que resulta en un volumen por unidad de $1703,78\text{m}^3$. La eficiencia de remoción de DBO es del 40%.

Durante la digestión de la materia orgánica se generan tres gases de efecto invernadero, el dióxido de carbono (que no se considera relevante dado que es de origen biogénico), el metano y el óxido nitroso. Para evitar la emisión de metano (y de malos olores) la laguna se encontrará cubierta, y los gases serán captados desde la superficie de la misma y conducidos hacia una antorcha donde serán incinerados. Como resultado se emiten 157,95 toneladas de dióxido de carbono equivalente por año, únicamente considerando el metano y el óxido nitroso y calculando su efecto climático con los potenciales de calentamiento global del Sexto Informe de Evaluación AR6 (IPCC, 2023).

Laguna facultativa

En las lagunas facultativas, una parte de los sólidos entrantes se asentará junto con una parte de los sólidos biológicos producidos a partir de la conversión del sustrato orgánico soluble. Con el tiempo, los sólidos asentados sufrirán descomposición anaeróbica. El término "facultativo" se deriva de la observación de que la conversión biológica, que ocurre en la laguna, es parcialmente aeróbica y parcialmente anaeróbica. Eventualmente, las lagunas facultativas deben ser desaguadas y los sólidos acumulados retirados (Metcalf & Eddy, 2003).

La capa superficial aeróbica experimentará una variación diurna, aumentando en contenido de oxígeno durante las horas del día debido a la fotosíntesis de algas y disminuyendo durante la noche, como se muestra en la **Figura 7**. Los lodos depositados en el fondo experimentarán descomposición anaeróbica, produciendo metano y otros gases. Se generarán olores si no se mantiene una capa aeróbica. Las profundidades para el diseño de este tipo de lagunas van entre 0,9 y 1,8 metros.

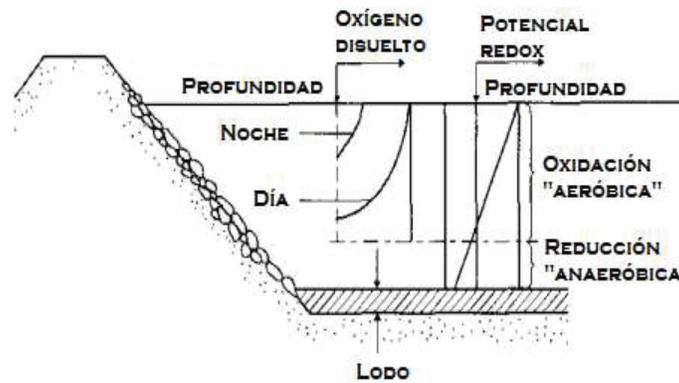


Figura 7: Esquema de laguna facultativa. Fuente: Eckenfelder, 2000.

Al cabo de un determinado tiempo, las lagunas de estabilización pueden colapsar por la acumulación de sólidos en el fondo. Esto inhabilita a la laguna y requiere de la construcción de un nuevo sistema de tratamiento para el efluente. Es por ello que cada cinco años se realizará la limpieza de las lagunas, eliminando los lodos que se depositan en el fondo y aumentando su vida útil. Esto será realizado con equipos móviles que se instalan en la superficie de las lagunas y permiten la extracción de lodos sin la interrupción del tratamiento.

Ambas lagunas se diseñaron según modelos de carga superficial, y, para facilitar su construcción, operación y mantenimiento, ambas serán idénticas. Cada laguna contará con 53m de largo, 25m de ancho y 1,5m de profundidad, lo que corresponde a 1237,12m³ por cada laguna. El área ocupada por cada laguna es de 0,13ha. Se considera una remoción del 96% de la DBO en el sistema de ambas lagunas.

Reactor *raceway* de microalgas

Estos reactores fueron desarrollados por primera vez en la década de 1950 para el tratamiento de aguas residuales. Un reactor de tipo *raceway* es un estanque de recirculación oblongo y poco profundo con extremos semicirculares como se muestra en la **Figura 8**. El flujo y la mezcla suelen ser generados por un solo *paddle wheel* (o rueda de paletas) que gira lentamente (Chisti, 2016). En el reactor se cultivan microalgas para la eliminación de contaminantes del agua residual.

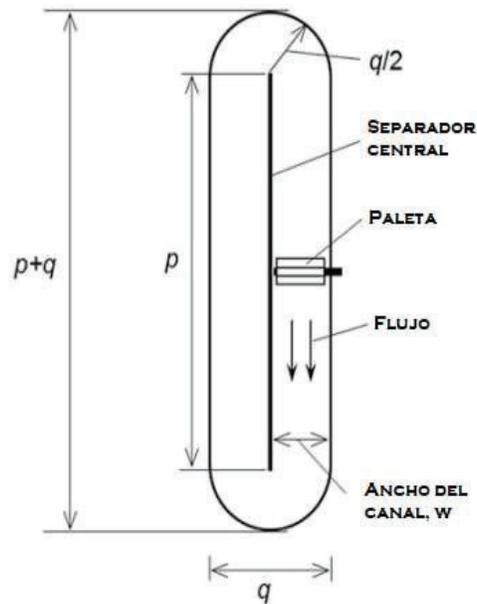


Figura 8: Esquema de un reactor de tipo *raceway*. Fuente: Chisti, 2016

Los sistemas comerciales desarrollados a partir de microalgas suelen funcionar con consorcios naturales de microalgas-bacterias generados dentro del propio reactor. Las especies que dominan estos cultivos suelen pertenecer a los géneros *Chlorella*, *Desmodesmus*, *Scenedemus*, *Micractinium*, entre otras (Masojidek et al., 2022). El consorcio de bacterias y microalgas funciona a partir de una sinergia en la que el oxígeno generado por las algas estimula la actividad bacteriana, mientras que el dióxido de carbono producido por las bacterias beneficia a las algas para la actividad fotosintética. Aunque las microalgas mixotróficas pueden degradar materia orgánica, son principalmente las bacterias las responsables de este proceso. Además, se producen fenómenos de coagulación-floculación del material coloidal orgánico debido a los cambios de pH en el reactor. Este material coloidal es retenido junto con la biomasa en el proceso de cosecha, lo que reduce la carga orgánica en la salida del reactor. La **Figura 9** muestra los principales procesos que ocurren dentro de un reactor tipo *raceway*.

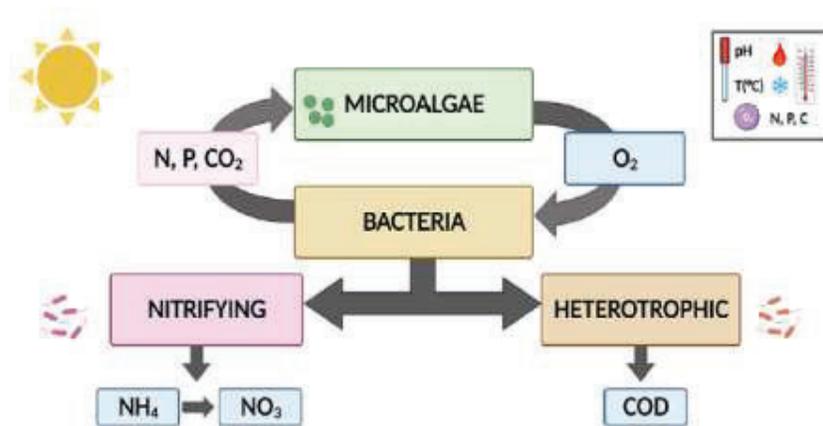


Figura 9: Esquema de los fenómenos principales que ocurren en un reactor raceway.
Fuente: Acien et al., 2023

El flujo en el reactor debe ser turbulento para mantener las células en suspensión, mejorar la mezcla vertical, prevenir la estratificación térmica y facilitar la eliminación del oxígeno generado por la fotosíntesis. Para mantener el flujo turbulento deben considerarse parámetros de diseño (alto y largo de cada tramo del reactor) y parámetros operativos (como la velocidad de circulación del fluido).

Estos reactores resultan menos costosos de construir que otro tipo de fotobiorreactores (ej.: fotobiorreactores cerrados). Pueden fabricarse de diferentes materiales, por ejemplo, puede estar hecho de tierra compactada revestida con una membrana de polímero (para evitar filtraciones). Debe considerarse que se requiere de una fuente de energía para su operación, dado que el movimiento del *paddle wheel* es lo que genera el movimiento del efluente dentro del reactor.

Cabe destacar que este tratamiento resulta sensible a las condiciones climáticas en las que está instalado. Al depender del cultivo de microorganismos fotosintéticos, las variaciones de radiación y temperatura son los factores de mayor relevancia que pueden afectar la efectividad del tratamiento. En el caso analizado esto no resulta un inconveniente, dada la latitud propuesta y que a su vez existen experiencias a escala piloto en un escenario climático similar (Rearte et al., 2023). En verano, las condiciones de radiación son las que dominarán los cultivos, mientras que, en invierno, la temperatura será el factor determinante tanto para el sistema de microalgas como para el sistema de lagunas.

La tasa máxima de crecimiento específico de las microalgas (μ_{max}) varía con la temperatura siguiendo la forma de la curva de la **Figura 10** (Goldman and Carpenter 1974, Grimaud et al., 2017), mientras que la variación con respecto a la radiación sigue la forma de la curva de la **Figura 11**. Esto refleja la sensibilidad que presenta este tratamiento frente a variaciones en las condiciones climáticas.

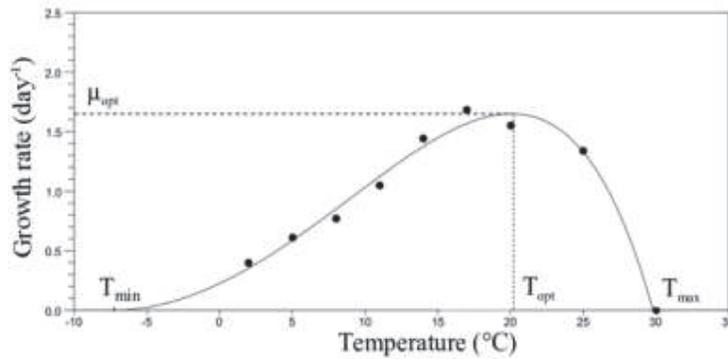


Figura 10: Variación de la tasa máxima de crecimiento específico de las microalgas con la temperatura (Grimaud et al., 2017).

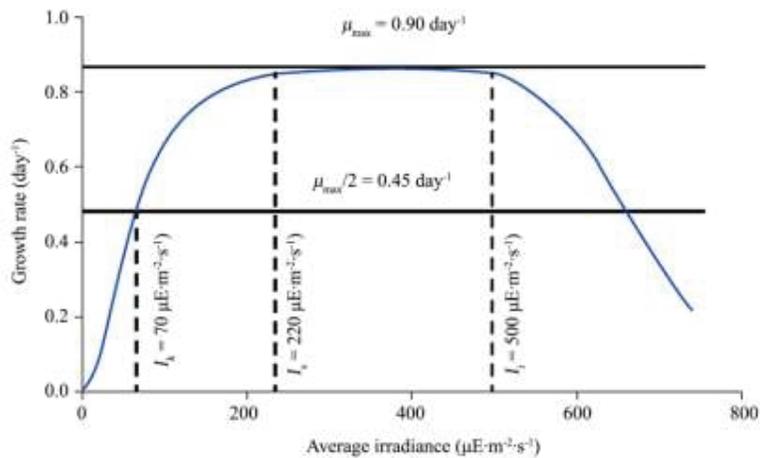


Figura 11: Variación de la tasa máxima de crecimiento específico de las microalgas con la radiación (Chowdury et al., 2020).

Al estar abiertos a la atmósfera, estos reactores no sólo son susceptibles a variaciones de radiación y temperatura, sino que también están expuestos a la lluvia y la contaminación por polvo y otros residuos. Otros problemas incluyen infecciones virales e infestaciones de zooplancton que consumen algas y otros depredadores (Chisti, 2013). Sin embargo, estudios específicos sobre sistemas de tratamiento de efluentes con este tipo de reactores indican que estos problemas son poco frecuentes en la práctica.

Además de proveer un método efectivo para la remoción de materia orgánica y nutrientes de aguas residuales, el tratamiento con microalgas está planteado para poder cosechar y valorizar la biomasa generada en el tratamiento. La concentración de biomasa en este tipo de reactores puede oscilar entre 0,2 y 1,5 g/L (Sanches-Zurano et al., 2021).

La biomasa cosechada tiene potenciales aplicaciones. Las microalgas contienen nutrientes relevantes como nitrógeno, fósforo, hierro y magnesio, además de moléculas orgánicas, que son altamente valiosas para la agricultura. El perfil de aminoácidos de las microalgas incluye aminoácidos esenciales que actúan como promotores del crecimiento en

diferentes cultivos. Además, la biomasa de microalgas puede ser rica en fitohormonas como auxinas, citoquininas y giberelinas, mejorando el desarrollo de las raíces y el crecimiento o desarrollo de los frutos en los cultivos (Acien et al., 2023). También se ha propuesto la biomasa de microalgas como fuente de biopesticidas, reemplazando compuestos químicos menos sostenibles y tóxicos ya utilizados para prevenir enfermedades en los cultivos (Costa et al., 2019). Cabe destacar que, para que este uso sea aplicable a escalas considerables es necesario profundizar los conocimientos sobre el efecto pesticida de los compuestos presentes en las microalgas.

Por otra parte, la biomasa de microalgas puede usarse como materia prima para obtener bioenergía, específicamente biocombustibles. Aunque la combustión de biomasa de microalgas para producir calor o electricidad es posible, la necesidad de secar la biomasa reduce significativamente la eficiencia del proceso en términos de energía y costo. La producción de biocombustibles se basa en la composición química de la biomasa: los carbohidratos pueden convertirse en bioetanol, los lípidos en biodiésel, o la biomasa completa puede transformarse en bioaceite mediante tratamiento termoquímico, o en biogás/biometano a través de digestión anaeróbica. Este último proceso es el más simple y viable en plantas de tratamiento de aguas residuales, permitiendo la producción de biometano a partir de biomasa de microalgas, generando hasta 0,2 kg de CH₄/kg de sólidos volátiles, equivalente a 0,6 kWh/m³ de agua residual tratada (Acien et al., 2023).

Para el desarrollo del presente proyecto se considera la generación de un **bioestimulante** a partir de la biomasa cosechada. Este producto se puede aplicar a cultivos para mejorar el rendimiento dado que mejora el desarrollo de las raíces y la absorción de nutrientes. Este producto cuenta con una alta concentración de aminoácidos, proteínas, vitaminas y macronutrientes. Es un producto biodegradable que permite la valorización del efluente como insumo, promoviendo la economía circular y la reducción de residuos. Se considera un período de almacenamiento de hasta dos semanas para evitar la degradación de este producto. Considerando que la zona donde se ubica el tambo está caracterizada por la presencia de actividades agrícolas el tiempo de almacenamiento no presenta una dificultad, dado que el transporte desde la generación hasta la aplicación es corto. En caso de que se requiera de un mayor tiempo de almacenamiento del producto puede evaluarse su refrigeración o el aditivo de conservantes, garantizando que los mismos no afectan su calidad.

Dado que la generación de este producto depende de la concentración de biomasa en los reactores y, por lo tanto, de las condiciones climáticas, se propone el monitoreo de la biomasa en los reactores para que, en caso de que esta concentración no sea suficiente, se proceda con acciones correctivas como corrección de temperatura y pH, o inocular nuevamente.

Análogamente a lo detallado para las lagunas anaeróbicas de la *Alternativa 1*, se diseña la construcción de dos reactores raceway operando en paralelo, cada uno recibiendo la mitad del caudal de diseño. Para el diseño de esta unidad se adoptó un tiempo de retención apropiado y se diseñó considerando optimizar el flujo dentro del reactor. Se determinó un volumen mínimo total de $325,20\text{m}^3$. Se diseñaron dos reactores idénticos de 100m de largo y 10m de ancho, cada uno con dos canales rectos de 5m cada uno. La altura del pelo de agua es de 0,20m, por lo que cada reactor contendrá un volumen de $215,71\text{m}^3$, lo que resulta en un volumen total de tratamiento de $431,42\text{m}^3$, cumpliendo con el requerimiento mínimo. El tiempo de retención en condiciones normales de operación es de 5 días. Para proveer la energía de propulsión y mezcla se diseñó una paleta para cada reactor con 10 aspas, cada aspa de 0,32m de largo y 4,96m de ancho, lo que requiere una potencia máxima de 1327,52W para todo el sistema, lo que corresponde a $3,08\text{W}/\text{m}^3$ de efluente tratado.

Cuando uno de los reactores no pueda operar por tareas de mantenimiento, el otro reactor será acondicionado para trabajar con una altura de pelo de agua de 0,25m, obteniendo un volumen de $269,63\text{m}^3$ y un tiempo de retención de 3,12 días. De este modo el tratamiento puede continuar en una unidad mientras la otra se encuentre fuera de funcionamiento.

Se trabajará con consorcios naturales de algas, debido a que existen casos de aplicación de estos sistemas que funcionan con este mecanismo, sin la necesidad de aislar cepas de algas. Las algas utilizadas en el tratamiento producen una biomasa rica en proteínas, que puede tener valor para la producción de bioproductos (en particular las del género *Chlorella*). La cosecha de la biomasa puede presentar desafíos referidos al consumo energético requerido para hacerlo y al porcentaje de biomasa recuperado. Si bien existen métodos que permiten recuperar la totalidad de la biomasa (como la tecnología de membranas de ultrafiltración), los mismos resultan costosos por los equipos requeridos y por los costos de la energía asociada a su operación. Es por esto que la recuperación de la biomasa se realizará mediante sedimentación y centrifugación. Debido a la complejidad de sedimentar las algas por gravedad, se realizará un ciclo de coagulación-floculación previo al paso del efluente por el sedimentador secundario.

Se realizarán cuatro unidades anexas al reactor biológico, una unidad de coagulación, una cámara de floculación, un sedimentador secundario y una centrífuga. Las unidades de coagulación y floculación para la cosecha de biomasa presentan las mismas dimensiones que aquellas diseñadas para el tratamiento primario, dado que las dimensiones dependen exclusivamente del caudal y de parámetros adoptados. Es por esto que la unidad de coagulación se compone de 3 unidades de 6 elementos de una unidad estática modelo TM6-DN65PN16 de la marca Grec, que ocupa una longitud total de 1,86m.

La cámara de floculación tendrá unas dimensiones de 1,31m de diámetro y 1,57m de altura, con una potencia de 1,37W destinada a la mezcla, que se realizará a 0,57 rps. Se utilizarán dos compuestos para lograr el proceso de coagulación – floculación. Se seleccionó cloruro férrico (FeCl_3) como coagulante y poliacrilamida (PAM) como floculante. La dosis requerida del primero es de $0,020 \text{ kg/m}^3$ mientras que para el segundo es de $0,015 \text{ kg/m}^3$, lo que resulta en requerimientos diarios de 1,70kg/d de FeCl_3 y 1,28kg/d de PAM.

El sedimentador secundario, destinado exclusivamente a la recuperación de la biomasa generada en el reactor *raceway* no presenta las mismas dimensiones que el sedimentador primario. Esta unidad requiere de $13,40\text{m}^3$, constituido por una unidad circular de 2,08m de diámetro y 4,67m de altura.

La centrífuga seleccionada para el tratamiento es el modelo *High Speed Algae Centrifuge* del fabricante US Filtermaxx, que está diseñado específicamente para la cosecha de microalgas. Este proceso tiene una eficiencia de recuperación del 95%, permitiendo recuperar 65,82kg/d de biomasa. La concentración alcanzada en este proceso es de alrededor de 100g/l, por lo que se genera un volumen de bioestimulante de $0,66\text{m}^3/\text{d}$. La biomasa generada será almacenada para su comercialización en recipientes plásticos. Se contempla la compra de 3 recipientes de 200l y 1 de 70l por día para almacenar el bioestimulante logrado.

La eficiencia global del proceso de cosecha es del 91%. El agua resultante de la centrifugación será recirculada al sistema de reactores *raceway*. Debido a que el caudal generado es significativamente menor al caudal de diseño, este no afecta las dimensiones de los reactores mencionados.

III.III. Tratamiento terciario

El tratamiento terciario varía según la alternativa propuesta. En la primera alternativa se propone un tratamiento terciario compuesto por un humedal artificial y una cámara de cloración. El objetivo del humedal es la remoción de los nutrientes excedentes que permanezcan en el efluente para garantizar el cumplimiento de los límites establecidos. Por otra parte, la cámara de cloración se diseña para desinfección del efluente previo a su vuelco. La segunda alternativa contiene únicamente una laguna de maduración para desinfección como tratamiento terciario. Esto se debe a que no se requiere remoción de nutrientes porque los mismos serán extraídos en el tratamiento secundario mediante el cultivo algal.

Laguna de maduración

Las lagunas de maduración se centran en eliminar los patógenos del efluente. En estas lagunas, se producen diversos mecanismos para la eliminación de patógenos, los cuales están estrechamente vinculados con la radiación solar, sedimentación, biodegradación, depredación, respiración endógena, pH y concentraciones de oxígeno disuelto (OD). Por ello, se consideran como etapas de desinfección (Arévalo et al, 2017). Se contempla la adición de una bomba para la extracción del efluente de la laguna y su dirección a la siguiente unidad.

Normalmente, su profundidad oscila entre 0,9 y 1 metro, lo que permite la entrada de luz y crea condiciones aeróbicas. La eliminación de parásitos en estas lagunas se logra mediante la sedimentación de quistes de protozoos y huevos de helmintos. Esta unidad requiere de un área superficial de 0,14ha (55m de largo y 25m de ancho), con 1m de profundidad. Considerando una inclinación de 45° para el talud se obtiene un volumen de 881,64m³.

Humedal artificial

Un humedal artificial es un conjunto complejo de aguas residuales, sustrato, vegetación y una variedad de microorganismos (principalmente bacterias). La vegetación juega un papel vital en los humedales al proporcionar superficies y un ambiente adecuado para el crecimiento microbiano y la filtración. Los contaminantes son eliminados dentro de los humedales mediante varios procesos físicos, químicos y biológicos complejos (UN-HABITAT, 2008). En la **Figura 12** se ilustra el funcionamiento típico de un humedal construido.

Según cómo sea el flujo del efluente dentro del humedal puede ser categorizado como humedal de flujo horizontal o humedal de flujo vertical. El tipo de flujo define cómo es la entrada y la salida del efluente en este tipo de sistemas. Los humedales de flujo horizontal son los que se utilizan para el tratamiento de efluentes, tanto secundario como terciario (Dotro et al., 2021). Esto se debe a su capacidad de operar de modo continuo, a diferencia de los humedales de flujo vertical, cuyo funcionamiento es típicamente por pulsos. La remoción de nitrógeno del efluente se da mediante diversos mecanismos, que responden a los componentes del humedal. En la **Figura 12** se ilustran estos mecanismos de remoción.

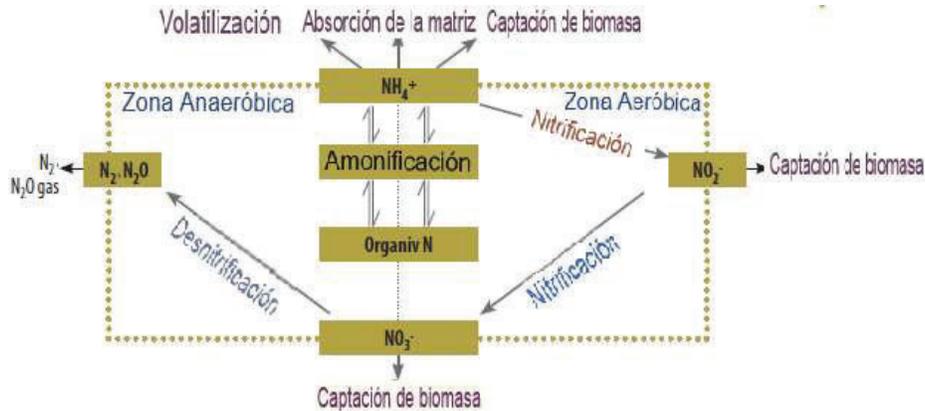


Figura 12: Mecanismos de remoción del nitrógeno en un humedal construido (UN-Habitat, 2008).

La especie a utilizar es la totora (*Typha latifolia*), que es considerada ideal para estos casos debido a su capacidad para adaptarse al clima local y su efectividad en la remediación de aguas contaminadas. Esta especie autóctona ayuda a reducir contaminantes como nitrógeno, fósforo y metales pesados a través de fitorremediación, un proceso en el que las plantas absorben y retienen estas sustancias. Además, su resistencia y rápido crecimiento aseguran un mantenimiento relativamente bajo, haciendo de la totora una opción eficiente y sostenible para el tratamiento de aguas residuales en la región.

Para garantizar el correcto ingreso y egreso del sistema, la configuración del relleno se diseña según la **Figura 13**. La grava de los lugares de ingreso y egreso es de 60mm, mientras que el relleno del humedal contiene grava de 10mm. El ingreso al efluente será mediante una tubería con orificios para evitar taponamientos y corto circuitos en el tratamiento.

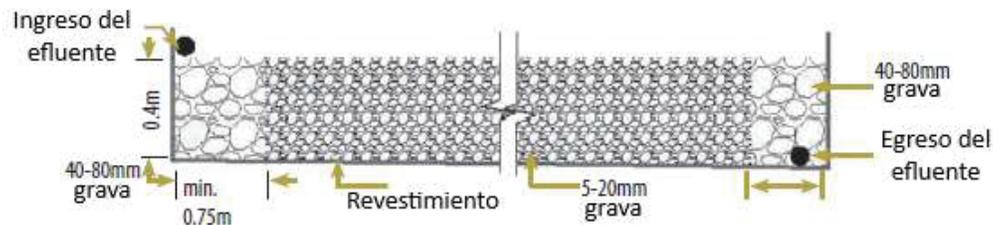


Figura 13: Esquema del relleno de un humedal de flujo horizontal (UN-Habitat, 2008).

El humedal diseñado para el tratamiento presenta una profundidad de 60cm, con un volumen total de 336m³, lo que corresponde a un área superficial de 560m². Se operarán 4 unidades paralelas de 14m de ancho y 10m de largo. Esta disposición favorece el flujo del efluente y evita corto circuitos en el tratamiento del agua. Se contempla la adición de una bomba luego de esta unidad para garantizar el correcto flujo del efluente hacia el punto de descarga.

Cámara de cloración

El objetivo de la instalación de esta unidad es la desinfección del efluente previo a su vuelco en el río. Esta unidad sólo se considera para la *Alternativa 1*, lo que permite asegurar la eliminación de patógenos remanentes, garantizando que el efluente sea seguro y cumpla con las normas de calidad para evitar riesgos de contaminación en el ambiente. La cámara diseñada presenta un volumen total de $3,03\text{m}^3$, lo que corresponde a un largo de $2,60\text{m}$ y un ancho total de $1,50\text{m}$, con dos tabiques de separación de $0,10\text{m}$ de espesor cada uno. La concentración de cloro requerida para la desinfección es de $73,47\text{g/día}$.

III.IV. Cámara de toma de muestras y medición de caudales

La Resolución N° 607/12 de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable establece que los establecimientos industriales y/o especiales, comprendidos en el artículo 2° del Decreto N° 674/89 y sus modificaciones, deben instalar una Cámara de Toma de Muestras y Medición de Caudales (CTMyMC) para facilitar las tareas de fiscalización de la autoridad competente. La CTMyMC debe estar ubicada dentro del predio de la Planta de Tratamiento de Efluentes Líquidos, formando un nicho interno, pero con acceso libre desde el exterior. Además, debe diseñarse para lograr una velocidad prácticamente nula antes de la descarga por el vertedero triangular.

La cámara contará con un total de 85cm de largo, 60cm de ancho y 1m de altura, conformando un área superficial de $0,51\text{m}^2$ y un volumen de $0,51\text{m}^3$ (sin considerar el espesor de las paredes). Según el listado provisto en la resolución consultada, el caudal de diseño del presente proyecto dará una altura de 9cm en el vertedero para medición de caudales (considerando el ángulo de apertura de vertedero de 30°). Este diseño se considera válido para las dos alternativas consideradas.

III.V. Tratamiento de lodos

En las diversas unidades de tratamiento se presenta la generación de lodos, que provienen de la remoción de sólidos del efluente. Los mismos deben ser tratados y dispuestos de forma adecuada. La generación de lodos en el presente diseño se da en diversas etapas del tratamiento. Para acondicionar los lodos para su disposición final se considera realizar un espesamiento seguido de un filtrado para remover humedad y posteriormente acomodar los lodos deshidratados en pilas de compostaje para estabilizarlos. Todos los lodos generados se transportan en cañerías por impulsión. Las pilas de compostaje se generarán semanalmente en ambas alternativas. Cabe destacar que los lodos generados en las lagunas de la *Alternativa 1* no están considerados en este tratamiento, sino que su tratamiento es externo.

El volumen de lodos a compostar en la *Alternativa 1* es de $0,29\text{m}^3$. Las pilas de compostaje se determinaron de 1,00 m de largo y 0,40 m de ancho, con una profundidad de 80cm. Se diseñan como un cono truncado de 10° de inclinación del talud y el área superior es de $0,08\text{ m}^2$. Esto alcanza un volumen de $0,31\text{m}^3$, lo que cubre la generación de lodos y permite un margen para adicionar otros materiales. Para la *Alternativa 2* la generación de lodos es de $0,50\text{ m}^3$ cada 28 días, por lo que las pilas se diseñan de 1,20 m de largo inferior, 0,50 m de ancho inferior y 1 m de profundidad, lo que resulta en un área superior de $0,12\text{ m}^2$ y un volumen de $0,53\text{ m}^3$ en cada pila. Se propone un período de compostaje de 28 días para las pilas de compostaje, lo que cumple con el valor recomendado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA, 1995) en el Manual de diseño de procesos referido a la Aplicación en tierra de lodos de depuradora y residuos sépticos domésticos.

Capítulo IV: Memoria de cálculo de diseño

En el presente capítulo se exhibe el cálculo detallado del dimensionamiento de cada operación unitaria mencionada en el capítulo anterior, junto con las cañerías y accesorios necesarios. Para cada unidad de tratamiento, se desarrolla su diseño, especificando los criterios adoptados y los rangos recomendados para ciertos parámetros, con el objetivo de alcanzar las condiciones de operación más eficientes. Asimismo, se describe el sistema de conducción de los efluentes líquidos que interconecta las unidades del tren de tratamiento, así como los equipos de bombeo, medición y dosificación que se instalarán.

El caudal de diseño para las unidades de tratamiento es de $85,20\text{m}^3/\text{día}$ (lo que corresponde a un promedio de $3,55\text{m}^3/\text{h}$). El caudal proveniente de la producción de leche representa el 98,94% del caudal total, mientras que el 1,06% restante proviene de los efluentes cloacales de las personas que trabajan en el predio durante 12hs al día, los 7 días de la semana.

III.I Pretratamiento

Canasto para retención de sólidos

Este dispositivo es común en ambas alternativas propuestas. Debido a las características del efluente se selecciona una apertura de malla de 10mm. Las dimensiones del canasto se determinan tal que permitan obtener una frecuencia de limpieza aceptable mientras no comprometan su fácil manejo. Es por eso que se propone la instalación de un canasto de base cuadrada de 0,5m de lado, con una altura de 0,6m. Con estas dimensiones se espera que la frecuencia de limpieza sea semanal, aunque la frecuencia puede ajustarse según el comportamiento real del sistema una vez en funcionamiento. Los parámetros se encuentran detallados en la **Tabla 3**.

Tabla 3: Parámetros de diseño del canasto para retención de sólidos.

Parámetro	Valor	Unidad
Geometría de la base	Cuadrada	
Apertura de malla	10	mm
Largo	0,5	m
Ancho	0,5	m
Altura	0,6	m
Frecuencia de limpieza	1	vez/semana
Sistema de limpieza	Malacate manual	

Ecuador

El ecualizador primario recibe las dos corrientes de efluentes presentes en el proyecto. Es por esto que el caudal de diseño es 85,20m³/día, que contempla los dos caudales de efluentes generados. En la **Tabla A 2** del Anexo I se presentan los valores promedio de la variación horaria del caudal de generación industrial a lo largo de las 24 horas del día, correspondientes a siete días de producción (24 periodos de una hora). Estos caudales medios, expresados en metros cúbicos por hora, se refieren a intervalos de tiempo de una hora ($Q_{medio t_i}$). Utilizando la Ecuación 1 se calcula el volumen que ingresa a la cámara de ecualización en cada periodo de tiempo (V_{t_i}).

Ecuación 1:

$$V_{t_i} = Q_{medio t_i} * \Delta t$$

A partir de lo obtenido se puede calcular el volumen acumulado dentro del ecualizador para cada período de tiempo ($V_{acumulado t_i}$) como la suma del volumen que ingresa en ese período (V_{t_i}) y lo acumulado hasta el período previo ($V_{acumulado t_{i-1}}$), tal como se observa en la Ecuación 2.

Ecuación 2:

$$V_{acumulado t_i} = V_{acumulado t_{i-1}} + V_{t_i}$$

A partir de los volúmenes acumulados puede calcularse el volumen de salida del ecualizador para cada hora, que será un valor constante en el tiempo, dado que determina el caudal de diseño del tren de tratamiento. El tanque opera los siete días de la semana, por lo que no resulta necesario un ajuste al promedio de caudales de ingreso. El caudal de diseño obtenido resulta de 3,55m³/h. Puede calcularse, entonces, el volumen de salida acumulado para cada período de tiempo ($V_{acumulado salida t_i}$) según la Ecuación 3 a partir del volumen de salida ($V_{salida t_i}$) y del volumen acumulado de salida hasta el período previo ($V_{acumulado salida t_{i-1}}$).

Ecuación 3:

$$V_{acumulado salida t_i} = V_{acumulado salida t_{i-1}} + V_{salida t_i}$$

A partir de la comparación de los volúmenes acumulados en el ecualizador y los volúmenes acumulados de salida del mismo puede construirse el gráfico de la **Figura 14**.

Para hallar el volumen de diseño del ecualizador se buscaron los dos puntos en los que los volúmenes acumulados tienen su mayor diferencia, tanto negativa ($\Delta V_1 = -2,39$) como positiva ($\Delta V_2 = 42,60$). A partir de estos volúmenes se obtiene el valor mínimo requerido, al que se le adiciona un 20% como margen de seguridad, según lo expuesto en la Ecuación 4, obteniendo un volumen del ecualizador de $53,99\text{m}^3$.

Ecuación 4:

$$V_{\text{ecualizador}} = (|\Delta V_1| + |\Delta V_2|) * 1,2$$

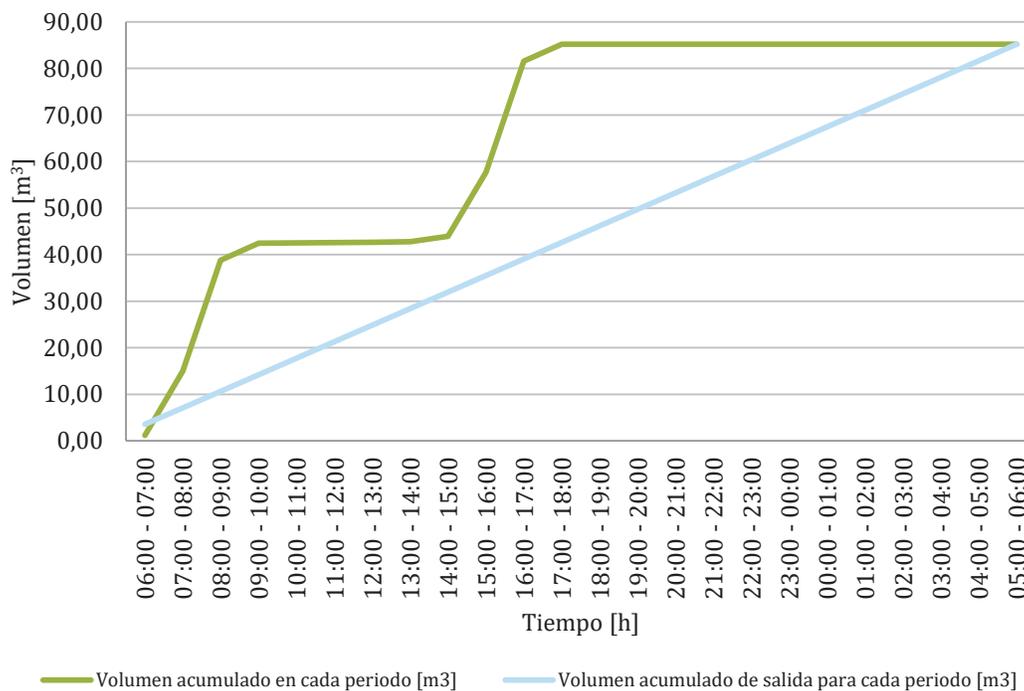


Figura 14: Volúmenes acumulados en el ecualizador, uno de entrada (línea verde) y otro de salida (línea azul) en función del tiempo.

Para garantizar la mezcla dentro del ecualizador y evitar la sedimentación de sólidos se adiciona un sistema de inyección de aire, compuesto por difusores de membrana de burbuja gruesa alimentados por sopladores de aire. Se seleccionó el modelo de difusores CB-300 del fabricante Repicky instalados en una grilla móvil para facilitar el mantenimiento. Para calcular el caudal de aire requerido se utiliza el valor sugerido en Metcalf & Eddy (2003) de $0,015\text{m}^3\text{aire}/\text{m}^3\text{ecualizador}/\text{min}$ (R_{aire}). Con este dato y el volumen obtenido del ecualizador se aplicó la Ecuación 5 para obtener el caudal de aire requerido, que resultó de $50,89\text{m}^3/\text{h}$.

Ecuación 5:

$$Q_{aire} = R_{aire} * V_{ecualizador}$$

A partir del caudal de diseño de los difusores seleccionados ($Q_{diseño\ difusores}$), que es de 10Nm³/h se aplicó la Ecuación 6 para obtener el número de difusores requeridos ($N_{difusores}$). Se obtuvo un total requerido de 6 difusores.

Ecuación 6:

$$N_{difusores} = \frac{Q_{aire}}{Q_{diseño\ difusores}}$$

El fabricante recomienda una densidad de difusores entre 0,5 y 3 difusores por metro cuadrado de superficie, por lo que en función de este valor se determinaron las dimensiones del sistema. Se optó por una geometría cilíndrica, con 2m de diámetro y 4,5m de alto, resultando en una superficie de 12,57m² y una densidad de difusores de 0,5 difusores por metro cuadrado. Se instalan difusores de grilla móvil para facilitar su mantenimiento.

Para suministrar el aire se optó por difusores del mismo fabricante, modelo R200, operando a 2900 rpm, lo que conlleva una potencia de 1,04 kW. Como resultado, es capaz de entregar un caudal de aire de 62,2m³/h, lo que satisface las necesidades del sistema. Por seguridad se instalan dos sopladores, para evitar detener la operación frente a inconvenientes con uno de ellos. Los parámetros referidos a esta unidad se resumen en la **Tabla 4**.

Tabla 4: Parámetros de diseño del ecualizador primario.

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal medio	3,55	m ³ /h
Volumen	53,99	m ³
Altura	4,50	m
Superficie	12,57	m ²
Diámetro	2,00	m
Requerimiento de aire	0,015	m ³ aire/m ³ ecualizador/min
Caudal de aire requerido	50,89	m ³ /h
Modelo de difusores	CB-300 Repicky	
Cantidad de difusores	6	unidades
Densidad de difusores	0,50	difusor/m ²
Modelo de sopladores	R200 Repicky	
Revoluciones por minuto	2900	rpm
Caudal de aire provisto	62,20	m ³ /h
Potencia por soplador	1,04	kW
Cantidad de sopladores	2	unidades

III.II Tratamiento primario

Unidad de coagulación - floculación

El caudal que ingresa a la unidad de coagulación – floculación es el caudal de diseño determinado en la sección previa, que corresponde a 3,55m³/h. Esta unidad presenta dos cámaras separadas, siendo la primera la destinada al proceso de **coagulación**. Se determinó un tiempo de mezcla de 5 segundos, dado que el coagulante a utilizar (cal) se mezcla fácilmente con el agua. A partir de este valor y de aplicar la Ecuación 7 se obtiene un volumen de reactor de 0,005m³. Debido a que el volumen obtenido resulta particularmente pequeño (menor a 1m³) se decide optar por instalar un mezclador estático para realizar el proceso de coagulación.

Ecuación 7:

$$V_{coag} = Q_{diseño} * t_m$$

Un mezclador estático es un dispositivo sin partes móviles que mezcla fluidos usando la energía del flujo. Funciona creando turbulencia mediante elementos internos que dividen y recombinan el flujo, logrando una mezcla homogénea. Este equipo se dimensiona considerando el caudal del efluente, el tiempo de mezcla y el diámetro interno, lo que permite determinar la longitud total y el número de elementos necesarios para seleccionar el mezclador estático más adecuado para el caso. Se seleccionó a la empresa *Grec* como proveedor, siendo el modelo seleccionado el TM6-DN65PN16.

Conociendo el volumen requerido para este sistema se determina el área transversal del dispositivo de mezcla (A_t) utilizando el diámetro interno de la tubería (d_i), que en este caso es de 58mm, resultando en un área transversal de 0,003m² según la Ecuación 8. Aplicando la Ecuación 9 se obtiene una longitud mínima requerida de 1,86m, lo cual corresponde a 3 unidades de mezcladores, cada una con 6 elementos fijos (de 620mm de largo cada unidad). Las dimensiones y otros parámetros de la unidad de coagulación se resumen en la **Tabla 5**.

Ecuación 8:

$$A_t = \pi * \left(\frac{d_i}{2}\right)^2$$

Ecuación 9:

$$l = \frac{V_{coag}}{A_t}$$

El coagulante a utilizar en este proceso es cal, lo que conlleva un aumento de pH en el efluente que resulta en un pH de alrededor de 9,50 unidades. La dosis de coagulante se determinó según la dosis óptima reportada por Hamdani et al. (2005) para este coagulante utilizado en efluentes de tambo, y corresponde a 0,49kg/m³. Al multiplicar este valor por el caudal diario se obtiene la dosis neta a aplicar sobre el efluente, que resulta de 41,75 kilogramos de coagulante por día.

Tabla 5: Parámetros de diseño de la unidad de coagulación.

Parámetro	Valor	Unidad
Tipo	Estático	
Caudal medio	3,55	m ³ /h
Tiempo de mezcla	5	s
Volumen	0,005	m ³
Diámetro externo	120	mm
Diámetro interno	58	mm
Radio	29	mm
Área transversal	0,003	m ²
Longitud por unidad	620	mm
Cantidad de unidades	3	unidad
Longitud total	1,86	m
Coagulante a utilizar	Hidróxido de calcio	
Dosis de coagulante	41,75	kg/d

La segunda cámara de este tratamiento está destinada al proceso de **floculación**. Para determinar el volumen de esta cámara (V_{floc}) se adopta un tiempo de residencia hidráulico de 30 minutos (t_h) para garantizar la formación de los flóculos y se aplica la Ecuación 10. Así se obtuvo un volumen mínimo requerido de 1,78m³.

Ecuación 10:

$$V_{floc} = Q_{diseño} * t_h$$

Se adopta un valor de 50000 para el producto del gradiente de velocidad ($G * t$), que se encuentra dentro del rango sugerido entre 10⁴ y 10⁵. Como resultado, habiendo fijado el tiempo de residencia en 30 minutos, se obtiene un valor del gradiente G de 27,78s⁻¹, lo cual cumple con el rango sugerido (entre 10s⁻¹ y 70s⁻¹).

Para dimensionar el tanque se asume una geometría cilíndrica, donde el diámetro del tanque (D_{floc}) es igual a la altura del nivel de agua del efluente dentro del tanque (H). Para

la altura efectiva del tanque (H_{floc}) se considera un margen de seguridad del 20%. Las dimensiones del tanque se calculan según la Ecuación 11, lo que da como resultado un diámetro de 1,31m y una altura de 1,57m.

Ecuación 11:

$$H_{floc} = 1,2 * D_{floc} = 1,2 * \sqrt[3]{\frac{4V_{floc}}{\pi}}$$

La cámara de floculación debe estar agitada, por lo que se incorpora una turbina tipo 4 de flujo axial, con 4 paletas (con un número de potencia $k = 0,75$). Para diseñar la turbina se siguen las relaciones geométricas listadas a continuación. Allí D representa el diámetro de la turbina, h representa la distancia entre la base de la cámara y la parte inferior de la turbina, B la longitud de las paletas desde su eje de simetría vertical hasta su extremo, W el ancho de las paletas y l la longitud de los deflectores que se instalarán en la pared de la cámara para evitar el efecto vórtice.

$$2 \leq \frac{D_{floc}}{D} \leq 6,6$$

$$2,7 \leq \frac{H}{D} \leq 3,9$$

$$0,9 \leq \frac{h}{D} \leq 1,1$$

$$B = \frac{D}{4}$$

$$W = \frac{D}{8}$$

$$l = \frac{D_{floc}}{12}$$

Se adopta una relación D_{floc}/D de 3,3, obteniendo un diámetro de la turbina (D) de 0,4m. Como D y H son iguales en magnitud, el valor de H/D también resulta de 3,3. Finalmente se adopta una relación h/D igual a 1, obteniendo un valor para h de 0,4m. A partir de las tres relaciones geométricas finales se obtiene un valor de B de 0,1m, un valor de W de 0,05m y un valor de l de 0,11m.

La potencia disipada por el sistema de mezcla (P) puede calcularse según la Ecuación 12, y la velocidad (n , medida en rotaciones por segundo o rps) se calcula según la Ecuación 13. μ y ρ representan la viscosidad y densidad del agua a 20°C respectivamente. Se obtuvo una potencia de 1,37W, asociada a una velocidad de rotación de 0,57 rps. En la **Tabla 6** se resumen los parámetros de diseño de la unidad de floculación. Para este equipo se opta por la compra de un mezclador modelo 0205 de la serie VRG del proveedor Milton Roy.

Ecuación 12:

$$P = \mu * V_{floc} * G^2$$

Ecuación 13:

$$n = \sqrt[3]{\frac{P}{k * \rho * D^5}}$$

Tabla 6: Parámetros de diseño de la unidad de floculación.

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal medio	3,55	m ³ /h
Tiempo de residencia	30	min
Gradiente de velocidad	27,78	s ⁻¹
Volumen	1,78	m ³
Geometría	Cilíndrica	
Diámetro del tanque	1,31	m
Altura del tanque	1,57	m
Altura mojada	1,31	m
Diámetro de la turbina	0,40	m
Altura de la turbina	0,40	m
Ancho de la turbina	0,05	m
Largo de la paleta	0,10	m
Ancho de los deflectores	0,11	m
Número de potencia	0,75	
Potencia disipada	1,37	W
Rotaciones por segundo	0,57	rps

Sedimentador primario

El sedimentador primario es la última unidad dentro del sistema de tratamiento primario. Esta unidad está presente en las dos alternativas planteadas. En esta sección se desarrolla el diseño de esta unidad, separado en las cuatro zonas que la componen: zona de entrada, zona de sedimentación, zona de lodos y zona de salida.

Comenzando con la **zona de sedimentación**, se adoptó un valor para la carga superficial (C_s) de $30 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$, lo que cumple con el rango sugerido por Metcalf & Eddy (2003) de entre 30 y $50 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$. Aplicando la Ecuación 14 y utilizando el valor del caudal medio ($3,55 \text{ m}^3/\text{h}$) y el valor de la carga superficial adoptada se obtuvo el valor de área superficial del sedimentador (A_s), que resultó de $2,84 \text{ m}^2$.

Ecuación 14:

$$A_s = \frac{Q}{C_s}$$

Debido al tipo de efluente analizado, un sedimentador de sección circular resulta más conveniente que uno de sección rectangular, considerando que facilita la remoción de lodos y requiere de menos espacio. Con el dato de área superficial se aplicó la Ecuación 15 para obtener el diámetro del sedimentador (D), que resultó de $1,90 \text{ m}$.

Ecuación 15:

$$D = \sqrt{\frac{4A_s}{\pi}}$$

Para hallar el volumen de esta zona y su altura correspondiente se adoptó un tiempo de permanencia (t_p) de 2 h , lo que cumple con el rango sugerido por Metcalf & Eddy (2003) de entre $1,5$ y $2,5 \text{ h}$. Utilizando este valor y la Ecuación 16 se obtuvo un volumen de zona de $7,10 \text{ m}^3$.

Ecuación 16:

$$V = Q * t_p$$

Aplicando la Ecuación 17 se obtuvo un valor de $2,50 \text{ m}$ para la altura de la zona de sedimentación del sedimentador primario.

Ecuación 17:

$$H = \frac{V}{A_s}$$

La **zona de lodos** se diseña con geometría de cono truncado invertido con el fin de facilitar la deposición de los sólidos que sedimentan en la unidad. El ángulo externo de la tolva (α) se adopta en 60° , debido a que el diámetro del sedimentador es pequeño, para favorecer el deslizamiento de los lodos hacia la parte inferior evitando que queden adheridos a las paredes. El ángulo adoptado permite la operación normal de la unidad sin la necesidad de instalación de barredores.

Para el diseño de la tolva primero se determinó la altura del cono sin trincar (Ht') aplicando la Ecuación 18, donde R es el radio mayor de la tolva (que es equivalente al radio de la zona de sedimentación) y α es el ángulo externo de 60° . Se obtuvo un valor de 1,65m para la altura del cono sin trincar.

Ecuación 18:

$$Ht' = \frac{R}{\tan(90 - \alpha)}$$

Se adopta un diámetro para la salida de lodos (D_i) de 30cm para evitar obstrucciones. Esto significa un área inferior de salida de lodos (A_i) de $0,07m^2$. A partir del diámetro adoptado se puede calcular la altura del cono a trincar, aplicando nuevamente la Ecuación 18, reemplazando R por 15cm y Ht' por H_i , que representa la altura del cono a trincar. Se obtuvo un valor de 0,26m para la altura del cono a trincar. Aplicando la Ecuación 19 se obtuvo un valor para la altura total de la tolva (Ht), que resultó de 1,39m.

Ecuación 19:

$$Ht = Ht' - H_i$$

Para calcular el volumen de la tolva se aplicó la Ecuación 20, donde Vt es el volumen total de la zona de lodos, A_s es el área superficial del sedimentador y A_i es el área de salida de los lodos. Se obtuvo un volumen de $2,13m^3$ para esta zona.

Ecuación 20:

$$Vt = \frac{Ht}{3} * (A_s + A_i + \sqrt{A_s + A_i})$$

Finalmente se determinan las dimensiones totales de esta unidad mediante la suma de las alturas de las dos zonas diseñadas y de sus respectivos volúmenes, siendo $9,23m^3$ el volumen total y 3,89m la altura total. En la **Tabla 7** se resumen todos los parámetros de diseño para las dos zonas diseñadas.

Tabla 7: Parámetros de diseño de las zonas de sedimentación y de lodos del sedimentador primario.

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal medio	3,55	m ³ /h
Carga superficial	30	m ³ /m ² /día
Área superficial	2,84	m ²
Tiempo de permanencia	2	h
Diámetro del tanque	1,90	m
Altura de la zona de sedimentación	2,50	m
Volumen de la zona de sedimentación	7,10	m ³
Ángulo externo de la tolva	60	°
Diámetro inferior de salida de lodos	0,30	m
Área inferior de salida de lodos	0,07	m ²
Altura de la zona de lodos	1,39	m
Volumen de la zona de lodos	2,13	m ³
Altura total del sedimentador	3,89	m
Volumen total del sedimentador	9,23	m ³

La **zona de entrada** del efluente se encuentra en el centro del sedimentador, dado que es de geometría circular. El efluente circula por una tubería central e ingresa a la unidad mediante orificios distribuidos uniformemente para lograr una mayor uniformidad en la entrada del flujo. Para el diseño de esta zona se adoptó una velocidad de paso a través de cada orificio (v_p) de 0,30m/s para evitar la re-suspensión de sólidos sedimentados. Se aplicó la Ecuación 21 para hallar el área de paso total (A_p), que es el área total requerida para el ingreso del efluente que resultó de $3,29 \times 10^{-3} \text{m}^2$.

Ecuación 21:

$$A_p = \frac{Q}{v_p}$$

Se adoptó un diámetro de orificio (D_o) de 0,013m y se calculó el área de paso de cada orificio (A_o), que resultó de $1,33 \times 10^{-4} \text{m}^2$. Se aplicó la Ecuación 22 para hallar el número de orificios necesarios. Se obtuvo un total de 25 orificios necesarios para la entrada del efluente.

Ecuación 22:

$$n_o = \frac{A_p}{A_o}$$

Los orificios de entrada no deben ubicarse en el primer ni último quinto del caño de entrada para evitar turbulencias al inicio y zonas de baja velocidad al final, lo que afecta la distribución uniforme del flujo y reduce la eficiencia de la sedimentación. Es por esto que los orificios estarán ubicados entre los 0,5m y los 2m de profundidad. Se adopta un diámetro para la zona de entrada (D_e) equivalente al 20% del diámetro total de la unidad (D), es decir 0,38m. Los orificios se distribuyeron en 5 filas y 5 columnas, por lo que se, utilizando los valores de altura útil y de perímetro de la zona de entrada (P_e , que resultó de 1,19m), se obtuvieron los valores de la separación horizontal (S_h) y vertical (S_v) entre orificios, que fueron de 0,30m y 0,38m respectivamente. Los parámetros y dimensiones obtenidas se resumen en la **Tabla 8**.

Tabla 8: Parámetros de diseño de la zona de entrada del sedimentador primario.

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal medio	3,55	m ³ /h
Velocidad de paso en cada orificio	0,30	m/s
Superficie total de paso	$3,29 \times 10^{-3}$	m ²
Diámetro de cada orificio	$1,30 \times 10^{-2}$	m
Superficie de cada orificio	$1,33 \times 10^{-4}$	m ²
Cantidad de orificios	25	unidades
Filas	5	unidades
Columnas	5	unidades
Separación vertical	0,38	m
Separación horizontal	0,30	m
Altura de la zona de entrada	0,50	m
Diámetro de la zona de entrada	0,38	m
Perímetro de la zona de entrada	1,19	m

Finalmente, para la **zona de salida** del sedimentador, se instalan vertederos de 3cm de altura útil (h_v) y un ángulo (Θ) de 90°. Se adiciona una revancha para la altura real de cada vertedero (h_v^{real}), que resulta entonces de 5cm. Se aplicó la Ecuación 23 para obtener el valor del caudal de salida por cada vertedero (Q_v), que resultó de $2,32 \times 10^{-4}$ m³/s.

Ecuación 23:

$$Q_v = 1,34 * \tan (\Theta/2) * h_v^{2,47}$$

Para obtener el número de vertederos necesarios (n_v) se aplicó la Ecuación 24. Se obtuvo un total de 5 vertederos necesarios para la salida del efluente.

Ecuación 24:

$$n_v = \frac{Q}{Q_v}$$

Con la se calculó el ancho de vertedero (W_v), utilizando la altura real de los vertederos (5cm). Se obtuvo un valor de 0,10m para W_v .

Ecuación 25:

$$W_v = 2 * \tan (\Theta/2) * h_v^{real}$$

Con el ancho de cada vertedero y la cantidad de los mismos se calcula la longitud total ocupada (L_v) multiplicando ambos parámetros. Se obtuvo una longitud total de 0,50m. Se calculó el espacio entre vertederos (E_v) según la Ecuación 26, donde P es el perímetro del sedimentador, que resultó de 5,97m. La separación entre vertederos resultó de 1,09m.

Ecuación 26:

$$E_v = \frac{P - L_v}{n_v}$$

Para el canal del vertedero se adopta una velocidad de 0,02m/s (v_c) dado que se considera una velocidad aceptable (Metcalf & Eddy, 2003). Se aplicó la Ecuación 27 para hallar el área del canal (A_c), y se obtuvo un valor de 0,05m².

Ecuación 27:

$$A_c = \frac{Q}{v_c}$$

Se adoptó un valor para el ancho del canal (W_c) de 0,30m. Con este valor se halló la altura de la pared interna del canal (h_i), que resultó de 0,16m. La altura externa del canal (h_e) se calculó según la Ecuación 28, donde, además de sumarse las alturas h_i y h_v^{real} se adicionan 20cm como margen de seguridad, resultando en un total de 0,41m.

Ecuación 28:

$$h_e = h_i + h_v^{real} + 0,2m$$

Se adoptó un valor de 3 mm/m para la pendiente del canal, con el fin de que el agua circule por gravedad. En la **Tabla 9** se exhiben los parámetros de diseño de la zona de salida.

Tabla 9: Parámetros de diseño de la zona de salida del sedimentador primario.

Parámetro	Valor	Unidad
Ángulo del vertedero	90	°
Caudal de salida por vertedero	$2,32 \times 10^{-4}$	m ³ /s
Número de vertederos	5	unidades
Altura real del vertedero	0,05	m
Ancho de vertedero	0,10	m
Longitud total ocupada	0,50	m
Espacio entre vertederos	1,09	m
Velocidad en el canal	0,02	m/s
Área del canal	0,05	m ²
Ancho del canal	0,30	m
Altura de la pared interna	0,16	m
Altura de la pared externa	0,41	m
Pendiente del canal	$3,00 \times 10^{-3}$	m/m

Si bien los parámetros de diseño de esta unidad son equivalentes independientemente de la alternativa desarrollada, no sucede lo mismo con las eficiencias de remoción. En la *Alternativa 1*, donde no se cuenta con unidades de coagulación-floculación previo a la sedimentación, la remoción de DQO se considera del 30% y la remoción de ST del 50% (Metcalf y Eddy, 2003), lo que resulta en valores de 2390mg/l y 286mg/l respectivamente. En cambio, cuando se cuenta con unidades de coagulación y floculación previo a la sedimentación (*Alternativa 2*) los porcentajes de remoción aumentan significativamente, alcanzando 80% para DQO (Metcalf & Eddy, 2003) y 94% para ST (Hamdani et al, 2005), lo que resulta en valores de 683mg/l y 34mg/l respectivamente.

III.III Tratamiento secundario

Laguna anaeróbica

La laguna anaeróbica constituye la primera instancia del tratamiento secundario de la *Alternativa 1*. Su diseño es prácticamente empírico y para este caso se utiliza el modelo de carga orgánica volumétrica, dado que el modelo de Vincent está diseñado para condiciones que no aplican al caso de estudio. El libro "*Lagunas de estabilización de aguas residuales*" publicado por Romero Rojas en el año 2005 provee las guías de diseño que se aplican en esta sección. Se diseña la operación de dos lagunas del mismo tamaño operando en paralelo, cada una con la mitad del caudal de diseño. En caso de limpieza u otro evento que interrumpa el flujo del efluente, el mismo será conducido en su totalidad a través de una de las lagunas diseñadas.

El primer paso es determinar la temperatura de invierno (T_i), para garantizar el correcto funcionamiento del tratamiento en las condiciones más desfavorables. Aunque la temperatura media de invierno para la zona puede alcanzar valores menores a 5°C (Servicio Meteorológico Nacional, 2024), se adopta un valor de 10°C para la temperatura de diseño, dado que la laguna estará cubierta, lo que disminuye la pérdida de calor dentro del sistema. A partir de este valor puede calcularse la carga orgánica volumétrica (COV) expresada en gDBO/m³/día, tal como se muestra en la Ecuación 29. Se obtuvo un valor de COV de 65 gDBO/m³/día.

Ecuación 29:

$$COV = 16,5 * T_i - 100$$

Con la COV calculada se determina el volumen mínimo necesario para la laguna para garantizar el tratamiento (V_{min}) según la Ecuación 30. El caudal medio es el caudal de diseño utilizado para las unidades previas y la DBO de entrada equivale a 956,02mg/l, que es el valor de DBO de egreso del sedimentador primario en la *Alternativa 1*. Se obtuvo un volumen mínimo de 1253,12m³ para la totalidad del tratamiento.

Ecuación 30:

$$V_{min} = COV * \frac{DBO_{entrada}}{Q_{med}}$$

Se adopta una altura (h) de 3m para las lagunas, que se encuentra dentro del rango sugerido entre 2,4 y 5m. Se asume geometría rectangular y se adopta un ancho superior (W_s) de 20,5m y un largo superior (L_s) de 50m, lo que resulta en un área superior (A_s) de 0,10ha. Las lagunas se constituyen como pirámides truncadas con un ángulo de inclinación del talud (α) de 45°. A partir de esto se calcula el largo inferior de las lagunas (L_i), el ancho inferior (W_i), siendo éstos de 44m y 14,5m respectivamente, lo que resulta en un área inferior (A_i) de 0,06ha. Con la Ecuación 31 se determinó el volumen total de cada laguna (V_{tot}), que resultó de 1703,78m³, lo que implica un volumen total de tratamiento de 3407,56m³, cumpliendo el volumen mínimo requerido para la unidad.

Ecuación 31:

$$V_{tot} = \frac{h}{3} * (A_i + A_s + \sqrt{A_i + A_s})$$

A partir del volumen de la unidad y del caudal medio de ingreso se calculó el tiempo de retención según la *Cuando una de las lagunas deja de operar (para tareas de limpieza o*

reparación) el tiempo de retención disminuye a 20 días, dado que el caudal de ingreso se duplica. En la **Tabla 10** se resumen los parámetros relativos a esta unidad.

Ecuación 32. Se obtuvo un tiempo de retención de 40 días, que se encuentra dentro del rango sugerido entre 20 y 50 días (Romero Rojas, 2005). Cuando una de las lagunas deja de operar (para tareas de limpieza o reparación) el tiempo de retención disminuye a 20 días, dado que el caudal de ingreso se duplica. En la **Tabla 10** se resumen los parámetros relativos a esta unidad.

Ecuación 32:

$$t_R = \frac{V_{tot}}{Q_{med}}$$

Tabla 10: Parámetros de diseño de las lagunas anaeróbicas (Alternativa 1).

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal de ingreso por unidad	1,78	m ³ /h
DBO de entrada	956,02	mg/l
Temperatura de diseño	10	°C
Carga orgánica volumétrica	65	g/ha/día
Cantidad de unidades de tratamiento	2	unidades
Altura	3	m
Inclinación del talud	45	°
Largo superior de una unidad	50,00	m
Ancho superior de una unidad	20,50	m
Área superior de una unidad	0,01	ha
Largo inferior de una unidad	44,00	m
Ancho inferior de una unidad	14,50	m
Volumen de una unidad	1703,78	m ³
Tiempo de retención	20	d
Tiempo de retención excepcional	40	d

Durante la operación de la laguna se generan dos gases de efecto invernadero que se consideran relevantes, el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O). Para calcular las emisiones de estos gases se extrajeron los factores de emisión del Capítulo 6 del Volumen 5 de las Directrices para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (Panel Intergubernamental para el Cambio Climático - IPCC, 2006). Para el metano el factor de emisión es de 0,48 kgCH₄ por cada kilogramo de DBO removida del efluente, mientras que para el óxido nitroso es de 0,005 kgN₂O por cada kilogramo de nitrógeno removido (que debe ser corregido por un factor de 44/28). Las cantidades de DBO y nitrógeno removidas se

calcularon con los porcentajes de remoción de esta unidad. Como resultado se obtuvieron caudales de 15,64 kgCH₄/día y 0,04 kgN₂O/día.

Considerando la composición propuesta por Heubeck & Craggs (2010), el metano corresponde al 66,70% del biogás generado en la laguna, por lo que se calcula un caudal de biogás total de 23,45kg/día. Para evitar el escape del metano, las lagunas estarán cubiertas y los gases egresarán por una antorcha donde serán incinerados. Para este equipo se selecciona el modelo FAI del proveedor Environtec, que está diseñado para el tratamiento de biogás en plantas de tratamiento de efluentes (**Figura A 12** del Anexo II). La composición del biogás cambia luego de que pasa por la antorcha, que se considera con una eficiencia del 95% para la quema del metano (**Tabla 11**).

Tabla 11: Composición del biogás antes y después de la antorcha, basado en la composición propuesta por Heubeck & Craggs (2010).

Etapa	Caudal generado					Unidad
	CH ₄	CO ₂	N ₂ O	Otros	Total	
Pre antorcha	16,64	7,58	0,04	0,65	24,94	kg/d
Post antorcha	0,83	51,05	0,04	0,65	52,60	kg/d

Para realizar un inventario de gases de efecto invernadero sólo deben considerarse el metano y el óxido nitroso, dado que el dióxido de carbono es de origen biogénico (IPCC, 2006). Se puede convertir las emisiones de estos gases a unidad de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) utilizando su potencial de calentamiento global. Considerando un potencial de calentamiento global de 27 para el metano y 293 para el óxido nitroso (Sexto Informe de Evaluación – AR6, IPCC), se obtiene una emisión total de 12,02 tonCO₂e/año. Esto corresponde a la totalidad de gases generados en ambas lagunas anaeróbicas.

La laguna se encontrará semi enterrada para disminuir los costos y para garantizar el flujo de agua por gravedad en unidades siguientes. Se considera una remoción del 40% de la DBO y de la DQO, debido a la temperatura de diseño considerada. La remoción de sólidos es de 70% (Reutelshöfer, 2015) y la remoción de nitrógeno y fósforo se asume de 40% para ambos parámetros.

Lagunas facultativas

La *Alternativa 1* propone la instalación de dos lagunas facultativas una vez que el efluente egresa de la laguna anaeróbica. Para el diseño de las mismas se utilizó, al igual que para la unidad previa, el libro de Romero Rojas (2005). Se seleccionó el modelo de Yañez para el diseño de la primera laguna facultativa, que está basado en la carga orgánica superficial.

Según este modelo, la carga superficial máxima (CSM_1) se calcula según la Ecuación 33, donde el parámetro T es la temperatura de diseño, que se calcula según la temperatura ambiente del mes más desfavorable (T_a) según la Ecuación 34. Tal como se mencionó para el diseño de la laguna anaeróbica, la temperatura ambiente se determinó en 10°C.

Ecuación 33:

$$CSM_1 = 357 * (1,085)^{T-20}$$

Ecuación 34:

$$T = 8,59 + 0,82 * T_a$$

Como resultado se obtuvo una temperatura del efluente de 16,79°C y un valor de CSM_1 de 274,75 kgDBO/ha/día. Se asume que la carga orgánica aplicada (CSA_1) es equivalente a la carga máxima (CSM_1), y a partir de este valor se calcula la carga orgánica removida (CSR_1) según la Ecuación 35. Se obtuvo un valor de 229,20 kg/ha/día para la CSR_1 .

Ecuación 35:

$$CSR_1 = 7,67 + 0,8063 * CSA_1$$

A partir del valor de CSA_1 se calculó el área superior mínima requerida ($A_{min,1}$) según la Ecuación 36. Se obtuvo un área mínima requerida de 1778,86m² para garantizar el correcto funcionamiento de esta unidad de tratamiento. Se consideró, entonces, un área real de la laguna ($A_{real,1}$) de 1800m².

Ecuación 36:

$$A_{min} = \frac{Q * DBO_{entrada}}{CSA}$$

Se adoptó una altura (h_1) de 1,5m, valor dentro del rango sugerido (entre 1,2m y 2,4m). Se adoptó un valor del ancho superior ($W_{s,1}$) de 30m y un largo superior ($L_{s,1}$) de 60m, garantizando el área requerida. Análogamente a la laguna anaeróbica, las lagunas facultativas se diseñan con una inclinación de talud de 45°. Para esta primera laguna se obtuvo un ancho inferior ($W_{i,1}$) y un largo inferior ($L_{i,1}$) de 27m y 57m respectivamente. El volumen de la laguna se calculó según la Ecuación 31, obteniendo un valor de 1698,39m³. Al calcular el tiempo de retención según la Ecuación 32, cuando una de las lagunas deja de operar (para tareas de limpieza o reparación) el tiempo de retención disminuye a 20 días, dado que el caudal de ingreso se duplica. En la **Tabla 10** se resumen los parámetros relativos a esta unidad.

Ecuación 32 se obtuvo un t_R de 20 días (siendo el rango sugerido entre 5 y 30 días).

Se repitió el procedimiento de cálculo para el diseño de la segunda laguna facultativa del tren de tratamiento propuesto, que constituye la última unidad de tratamiento secundario de la *Alternativa 1*. En este caso se asumió un valor de CSM_2 (y por ende de CSA_2) de 100 kgDBO/ha/día, según lo sugerido por Mara para lagunas de estabilización con temperaturas ambiente iguales o menores a 10°C y profundidades entre 1,5m y 2m. Se calculó la CSR_2 según el modelo de Yañez para lagunas facultativas secundarias (Ecuación 37) y se obtuvo una CSR_2 de 75,70 kgDBO/ha/día.

Ecuación 37:

$$CSR_2 = -0,8 + 0,765 * CSA_2$$

Para esta segunda laguna calculó el área mínima requerida ($A_{min,2}$) según la Ecuación 36 y se obtuvo un área de 810,21m², a partir de la cual se determinó un área real ($A_{real,2}$) de 850m². Se adoptó una altura (h_2) de 1,5m, un valor del ancho superior ($W_{s,2}$) de 17m y un largo superior ($L_{s,2}$) de 50m, garantizando el área requerida. Con la inclinación de 45° se obtuvo un ancho inferior ($W_{i,2}$) y un largo inferior ($L_{i,2}$) de 14m y 47m respectivamente. El volumen de la laguna se calculó según la Ecuación 31, obteniendo un valor de 773,42m³. Al calcular el tiempo de retención según la Ecuación 32, cuando una de las lagunas deja de operar (para tareas de limpieza o reparación) el tiempo de retención disminuye a 20 días, dado que el caudal de ingreso se duplica. En la **Tabla 10** se resumen los parámetros relativos a esta unidad.

Ecuación 32 se obtuvo un t_R de 9 días, valor que se encuentra dentro del rango sugerido.

La eficiencia de remoción de DBO de una laguna facultativa se puede calcular según la Ecuación 38. Para la primera laguna se obtuvo una eficiencia de remoción de DBO del 83%, mientras que para la segunda laguna la eficiencia es del 76%. Se adoptó una eficiencia de remoción de DQO de 70% y 60% respectivamente.

Ecuación 38:

$$E = \frac{CSA}{CSR}$$

La eficiencia de remoción de sólidos suspendidos en ambas lagunas facultativas es del 50% (Reutelshöfer, 2015), mientras que las eficiencias de remoción de los nutrientes nitrógeno y fósforo son de 80% y 50% respectivamente (U.S. EPA, 2002). En estas lagunas existen procesos de oxigenación que favorecen la presencia de algas y maximizan las remociones de nutrientes (a diferencia de las lagunas anaeróbicas). Los parámetros asociados al diseño de estas lagunas se observan en la **Tabla 12**.

Tabla 12: Parámetros de las lagunas facultativas (Alternativa 1).

Parámetro	Laguna facultativa 1	Laguna facultativa 2	Unidad
Caudal de ingreso	3,55	3,55	m ³ /h
DBO de entrada	573,61	95,10	mg/l
DBO de salida	95,10	23,11	mg/l
Temperatura de diseño	10	10	°C
Carga superficial aplicada	274,75	100	kg/ha/día
Carga superficial removida	229,20	75,70	kg/ha/día
Eficiencia de remoción	83,42	75,70	%

Para facilitar el diseño, la operación y el mantenimiento de las lagunas facultativas se simplificará el diseño, sumando las áreas obtenidas de ambas lagunas y dividiendo este valor en las dos unidades de tratamiento. De este modo se optimiza el tratamiento y se simplifica su construcción y operación. Las dimensiones se observan en la **Tabla 13** y corresponden a una única laguna, que será replicada exactamente. Debe considerarse que la limpieza de estas lagunas puede realizarse con un sistema de remoción de barros que opera desde la superficie, por lo que no debe interrumpirse el tratamiento para la remoción de los mismos.

Tabla 13: Parámetros de diseño de las lagunas facultativas (Alternativa 1). Todas las dimensiones corresponden a una laguna, que será replicada.

Parámetro	Laguna facultativa	Unidad
Cantidad de unidades de tratamiento	2	unidades
Altura	1,50	m
Inclinación del talud	45,00	°
Área superior	1325,00	m ²
Largo superior	53,00	m
Ancho superior	25,00	m
Área inferior	1100,00	m ²
Largo inferior	50,00	m
Ancho inferior	22,00	m
Volumen	1237,12	m ³
Tiempo de retención	14,52	d

Reactor *raceway* de microalgas

El diseño de esta unidad se basa casi exclusivamente en garantizar el correcto flujo del agua a través del reactor. Los parámetros de diseños están referidos a una unidad, separada en dos canales (ver **Figura 8**). En primer lugar, se determina una altura del pelo del agua (h) de 20cm, lo que se encuentra dentro del rango típico para este tipo de unidades, que no debe superar los 50cm. Esto se determina con el fin de garantizar que las algas presentes en el reactor sean capaces de acceder a la luz solar.

Para determinar el volumen mínimo requerido se adopta un tiempo de retención de 4 días, lo que se encuentra dentro del rango de 2-7 días sugerido por Sánchez-Zurano et al. (2021). Con el caudal medio del sistema de tratamiento se obtuvo un volumen mínimo para el tratamiento (V_{min}) de 340,80m³. Se diseñan dos unidades idénticas que operarán en paralelo, para garantizar la continuidad del sistema en caso de mantenimiento de una de las unidades.

Se determinaron los parámetros p y q , que corresponden al largo y ancho de cada unidad que compone al sistema en 100m y 10m respectivamente. Se obtuvo un valor del ancho de canal (w) de 5m. Esta selección da un cociente p/q de 10, lo que cumple con el requisito de que sea mayor o igual a 10 (Chisti, 2016). Se calculó el área de un reactor según la Ecuación 39, lo que resultó en un área de 1078,54m², lo que corresponde a un área total de tratamiento de 2157,08m² considerando que se instalarán dos reactores.

Ecuación 39:

$$A = \left(p * q + \frac{\pi q^2}{4} \right)$$

Para hallar el volumen se multiplicó el área de la unidad por su profundidad, obteniendo un volumen total de 215,71m³ para cada unidad, resultando en un volumen total de 431,42m³. El volumen obtenido resultó cumplir los requerimientos de volumen mínimo, resultando en un tiempo de retención real (t_R) de 5,06d.

Además de las dimensiones de la unidad se calculó la potencia requerida para su operación. Para ello se determinó una velocidad de flujo (u) de 0,2m/s. Este valor se encuentra por encima del valor mínimo sugerido (0,1m/s) y es un valor sugerido para esta actividad (Chisti, 2016). Se aplicó la Ecuación 40 para calcular el diámetro hidráulico (d_h) del conducto, y se obtuvo un valor de 0,74m.

Ecuación 40:

$$d_h = \frac{4 * w * h}{w + 2 * h}$$

Con este valor se calculó el número de Reynolds según la Ecuación 41, donde μ es la viscosidad de la mezcla, que se considera igual a la del agua. Se obtuvo un valor de Re de $1,48 \times 10^5$, lo que significa que el régimen en esta unidad de tratamiento es turbulento. Esto resulta crucial para evitar sedimentación de la biomasa, estratificación térmica y facilitar la remoción del oxígeno en exceso.

Ecuación 41:

$$Re = \frac{\rho * u * d_h}{\mu}$$

A partir de estos valores obtenidos y de aplicar la Ecuación 42 se obtuvo una potencia eléctrica requerida para cada unidad de 196,67W, lo que constituye un consumo total de 393,34W. En la ecuación el factor f_M representa el factor de rugosidad del canal de Manning. Se determinó el valor en $0,015s/m^3$ dado que es el valor correspondiente a grava compactada revestida con una membrana polimérica, que es el material con el que se construirá el reactor.

Ecuación 42:

$$P = \frac{1,59 * A * \rho * g * u^3 * f_M^2}{e * d_h^{0,33}}$$

Como factor de seguridad, la potencia requerida para el sistema se calcula utilizando una velocidad de flujo de 0,3m/s. Esta modificación resulta en una potencia máxima requerida de 663,76W por unidad, es decir un total de 1327,52W. Esto implica un consumo de 3,08W/m³ de efluente tratado.

La potencia eléctrica requerida para el flujo y la mezcla será provista por una rueda de paletas instalada semi sumergida en el efluente. La rueda contará con diez aspas rectas, y en el lugar de instalación de la rueda el fondo será plano. Es por esto que se considera una separación entre el fondo y las aspas de 2cm, así como una separación entre los costados del reactor y las aspas de 2cm. Se determinó el ancho de las aspas (W_a) en 4,96m (considerando el ancho del canal y la restricción de 2cm de separación con cada borde).

Para determinar el largo de las aspas debe conocerse la altura fricción generada en el sistema (h_f). La misma se calculó según la Ecuación 43, donde L_T es la distancia total recorrida por el flujo. Se obtuvo un valor de h_f de 0,02m.

Ecuación 43:

$$h_f = \frac{f_M * L_T * u^2}{2 * d_h * g}$$

El largo de las aspas (L_a) se calculó según la Ecuación 44, donde h es la altura del pelo de agua determinada previamente, h_f es la pérdida de carga por fricción en el reactor y h_s es una altura de seguridad que se determina en 0,10m. Se obtuvo un valor para el largo de las aspas de 0,32m. Se determinó un diámetro total para la paleta entera (D_p) de 0,80m, que corresponde a 4 veces la altura del cultivo, dado que es considerado el punto de mínimo consumo para el motor.

Ecuación 44:

$$L_a = h + h_f + h_s$$

En la **Tabla 14** se resumen los parámetros de diseño y operación de la presente unidad de tratamiento.

Tabla 14: Parámetros de diseño del reactor raceway (Alternativa 2).

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal de ingreso por unidad	1,78	m ³ /h
Altura del pelo de agua	0,20	m
Largo de una unidad	100,00	m
Ancho de una unidad	10,00	m
Relación p/q	10	-
Cantidad de unidades	2	unidades
Área de una unidad	1078,54	m ²
Volumen de una unidad	215,71	m ³
Tiempo de retención	5,06	d
Velocidad de flujo	0,20	m/s
Consumo de energía por unidad	196,67	W
Consumo de energía máximo por unidad	663,76	W
Sistema de mezcla	Paleta de mezcla	
Cantidad de aspas	10	unidades
Largo de las aspas	0,32	m
Ancho de las aspas	4,96	m
Diámetro total de la paleta	0,80	m

En el caso de que una de las unidades requiera de mantenimiento, el caudal será dirigido en su totalidad a la unidad que quede operativa. Se modificará la altura del pelo de agua para que alcance los 25cm, generando un volumen de 269,63m³, que tiene asociado un tiempo de retención de 3,16 días. Este valor para el tiempo de retención se encuentra dentro del rango aceptable y garantiza la continuidad del tratamiento (Sánchez-Zurano et al., 2021).

Se diseñan cuatro unidades anexas destinadas a la cosecha de la biomasa para su recuperación y la elaboración de un bioestimulante. A diferencia de otros tratamientos, la biomasa recuperada no debe ser recirculada al reactor biológico, lo que significa que puede aprovecharse para usos comerciales. En este caso las unidades anexas consisten en una unidad de coagulación, una de floculación, un sedimentador secundario y una centrifuga.

Las unidades de coagulación y floculación se diseñaron según lo detallado en la sección III.II. Todo el diseño detallado en dicha sección aplica al diseño de las presentes unidades, dado que estos procesos dependen exclusivamente de fenómenos del flujo, que no varían en función de las concentraciones de contaminantes. Es por esto que las ecuaciones utilizadas en la sección mencionada son consideradas como válidas, así como las adopciones allí determinadas. Los parámetros de diseño de las unidades de coagulación y floculación para la sedimentación secundaria se exhiben en la **Tabla 15** y la **Tabla 16** respectivamente.

Se seleccionó cloruro férrico (FeCl_3) como coagulante y poliacrilamida (PAM) como floculante. La dosis requerida del primero es de $0,020 \text{ kg/m}^3$ mientras que para el segundo es de $0,015 \text{ kg/m}^3$, lo que resulta en requerimientos diarios de $1,70 \text{ kg/d}$ de FeCl_3 y $1,28 \text{ kg/d}$ de PAM. Las dosis de estos compuestos deberán ajustarse estacionalmente debido a la variación en el crecimiento de la biomasa. La variación de las dosis dependerá de la concentración de biomasa presente en el efluente. Como resultado de esta aplicación se recupera el 96% de la biomasa en suspensión y se logra un valor de pH de 9,5 unidades, cumpliendo con el límite legal para este parámetro (De Souza Leite, 2019).

Tabla 15: *Parámetros de diseño de la unidad de coagulación (luego del reactor biológico).*

Parámetro	Valor	Unidad
Tipo	Estático	
Caudal medio	3,55	m^3/h
Tiempo de mezcla	5	s
Volumen	0,005	m^3
Diámetro externo	120	mm
Diámetro interno	58	mm
Radio	29	mm
Área transversal	0,003	m^2
Longitud por unidad	620	mm
Cantidad de unidades	3	unidad
Longitud total	1,86	m
Coagulante a utilizar	PAM + FeCl_3	
Dosis de PAM	1,28	kg/d

Dosis de FeCl ₃	1,70	kg/d
----------------------------	------	------

Tabla 16: Parámetros de diseño de la unidad de floculación (luego del reactor biológico).

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal medio	3,55	m ³ /h
Tiempo de residencia	30	min
Gradiente de velocidad	27,78	s ⁻¹
Volumen	1,78	m ³
Geometría	Cilíndrica	
Diámetro del tanque	1,31	m
Altura del tanque	1,57	m
Altura mojada	1,31	m
Diámetro de la turbina	0,40	m
Altura de la turbina	0,40	m
Ancho de la turbina	0,05	m
Largo de la paleta	0,10	m
Ancho de los deflectores	0,11	m
Número de potencia	0,75	
Potencia disipada	1,37	W
Rotaciones por segundo	0,57	rps

El sedimentador secundario se diseña siguiendo el mismo método detallado en la sección III.I para el sedimentador primario. Si bien los caudales son iguales, se consideran algunas variaciones al diseño, según requerimientos específicos. Para esta unidad se debe contemplar que la carga superficial debe ser entre 8 y 33 m³/m²/día, por lo que se determina en 25 m³/m²/día; el tiempo de permanencia debe ser mayor a 2 horas y menor a 4, por lo que se adopta un tiempo de 3h; la carga de sólidos en esta unidad debe estar entre 1 y 5 kg/m²/h, lo cual se cumple, dado que se obtiene un valor de 1,07 kg/m²/h. Este último parámetro se calcula según la Ecuación 45, contemplando que la concentración de algas en el reactor (X_{SST}) es de 0,85 g/l (Chisti, 2016), y el área superficial está determinada según la Ecuación 14. Los parámetros de diseño de esta unidad se resumen en la **Tabla 17**, **Tabla 18** y **Tabla 19**.

Ecuación 45:

$$C_{sol} = \frac{Q_{med} * X_{SST}}{A_S}$$

Tabla 17: Parámetros de diseño de la zona de sedimentación y lodos del sedimentador secundario.

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal medio	3,55	m ³ /h

Carga superficial	25	m ³ /m ² /día
Área superficial	3,41	m ²
Tiempo de permanencia	3	h
Diámetro del tanque	2,08	m
Altura de la zona de sedimentación	3,13	m
Volumen de la zona de sedimentación	10,65	m ³
Ángulo externo de la tolva	60	°
Diámetro inferior de salida de lodos	0,30	m
Área inferior de salida de lodos	0,07	m ²
Altura de la zona de lodos	1,54	m
Volumen de la zona de lodos	2,75	m ³
Altura total del sedimentador	4,67	m
Volumen total del sedimentador	13,40	m ³

Tabla 18: *Parámetros de diseño de la zona de entrada del sedimentador secundario.*

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal medio	3,55	m ³ /h
Velocidad de paso en cada orificio	0,30	m/s
Superficie total de paso	3,29 x 10 ⁻³	m ²
Diámetro de cada orificio	1,30 x 10 ⁻²	m
Superficie de cada orificio	1,33 x 10 ⁻⁴	m ²
Cantidad de orificios	25	unidades
Filas	5	unidades
Columnas	5	unidades
Separación vertical	0,38	m
Separación horizontal	0,33	m
Altura de la zona de entrada	0,63	m
Diámetro de la zona de entrada	0,42	m
Perímetro de la zona de entrada	1,31	m

Tabla 19: *Parámetros de diseño de la zona de salida del sedimentador secundario.*

Parámetro	Valor	Unidad
Ángulo del vertedero	90	°
Caudal de salida por vertedero	2,32 x 10 ⁻⁴	m ³ /s
Número de vertederos	5	unidades
Altura real del vertedero	0,05	m
Ancho de vertedero	0,10	m
Longitud total ocupada	0,50	m
Espacio entre vertederos	1,21	m

Velocidad en el canal	0,02	m/s
Área del canal	0,05	m ²
Ancho del canal	0,30	m
Altura de la pared interna	0,16	m
Altura de la pared externa	0,41	m
Pendiente del canal	3,00 x 10 ⁻³	m/m

Una vez recuperado el lodo generado en el sedimentador secundario, el mismo es dirigido a la centrífuga, cuyo objetivo es minimizar el contenido de agua de la biomasa para facilitar su comercialización.

La biomasa generada en el reactor raceway es de 0,85g/l (lo que corresponde a 72,42kg/d). Se recupera el 96% de ese valor en la sedimentación, es decir, 69,52kg/d. La concentración de la biomasa en el lodo es de 40g/l (Arbib et al, 2022), lo que implica una generación de lodos de 1,74m³/d. Este valor también contempla la generación de lodos por sedimentación, aunque este último caso sólo corresponde a 0,006m³/d, siendo el lodo compuesto en un 99,68% de biomasa.

La biomasa será purgada del sedimentador una vez al día mediante la extracción por bombeo del lodo generado, que se considera exclusivamente biomasa debido a la baja presencia de sólidos en el efluente en este punto del tratamiento. La biomasa será dirigida a la centrífuga donde será tratada durante 4,3 minutos a una velocidad de 8500 rpm. El equipo seleccionado es el modelo *High Speed Algae Centrifuge* del fabricante US Filtermaxx, que está diseñado específicamente para la cosecha de microalgas. Este proceso tiene una eficiencia de recuperación del 95%, permitiendo recuperar 65,82kg/d de biomasa. La concentración alcanzada en este proceso es de 100g/l, por lo que se genera un volumen de bioestimulante de 0,66m³/d. La eficiencia global del proceso de cosecha es del 91%. En la centrífuga se genera un caudal de 1,09m³/d de agua tratada que será reingresado al sistema de reactores raceway. Este caudal no modifica significativamente los requerimientos de volumen, por lo que se considera válido el diseño detallado para el caudal de diseño.

El bioestimulante logrado en la centrífuga será almacenado en recipientes plásticos que permitirán su comercialización. Para evaluar la generación del bioestimulante se pueden considerar dos escenarios, uno en condiciones favorables y otro en condiciones desfavorables. El primer escenario considera los meses de primavera y verano donde las horas de luz son suficientes y las temperaturas son elevadas. Por otro lado, el escenario desfavorable corresponde a los meses donde hay menor cantidad de horas de luz diarias y las temperaturas son menores, lo que corresponde a los meses de otoño e invierno.

En base a estos escenarios se puede considerar una concentración de biomasa dentro de los reactores de 1,2 g/l para el escenario favorable y de 0,5 g/l para el desfavorable. Esto implica una generación de bioestimulante de 941 litros por día en el primer escenario y 392 litros por día en el segundo. Para el diseño de este proyecto se considera un escenario promedio entre los dos planteados, lo que contempla la variabilidad estacional del sistema. Este escenario promedio es el que corresponde a una concentración de biomasa de 0,85g/l dentro de los reactores.

En promedio se generan 666 litros de bioestimulante al día, que serán almacenados en 3 recipientes de 200 litros y un recipiente de 70 litros. Debe contemplarse que este valor es la generación promedio de biomasa, y que, dado que la misma presenta variaciones estacionales, la cosecha de biomasa debe estar asociada a la concentración de biomasa presente en el efluente al momento de la cosecha. Es por esto que se debe monitorear la biomasa mediante el análisis del efluente en este punto del tratamiento a través del uso de un espectrofotómetro. Los recipientes son almacenados en un galpón cuadrado de 3m de largo y 2,5m de alto hasta su comercialización.

Es posible realizar un análisis relacionado a los gases de efecto invernadero. Los sistemas de microalgas no generan emisiones de CO₂. Por el contrario, poseen la capacidad de fijar carbono. El cálculo de la cantidad de CO₂ fijado puede realizarse de manera relativamente sencilla, si se considera que la única fuente de carbono para la biomasa en especies autotróficas es el CO₂. No obstante, otras fuentes de carbono pueden incluir el bicarbonato (HCO₃⁻), el cual puede derivar parcialmente de la disolución del CO₂ atmosférico y de la propia composición del agua residual, así como compuestos orgánicos de bajo peso molecular en el caso de especies mixotróficas. Es por esto que la estimación del CO₂ absorbido por las microalgas resulta compleja, ya que depende de múltiples factores (condiciones ambientales, disponibilidad de carbono inorgánico en el medio, entre otros). Debido a esta complejidad, no se ha realizado un cálculo exacto de la cantidad de CO₂ fijado en este caso, aunque se reconoce la potencialidad de absorción de carbono de este sistema.

III.IV Tratamiento terciario

Laguna de maduración

Para el diseño de la laguna de maduración (*Alternativa 2*) se determinó un tiempo de retención de 10 días, lo que se encuentra entre 5 y 20 días, que es el rango sugerido por Romero Rojas (2005). A partir de este valor se determinó el volumen mínimo requerido para la laguna según la Ecuación 46, donde Q_{med} es el caudal medio de diseño y θ es el tiempo de retención. Se obtuvo un volumen mínimo requerido de 852m³.

Ecuación 46:

$$V_{min} = \frac{Q_{med}}{\theta}$$

Se determinó una profundidad de la laguna de 1m y una inclinación del talud de 45°. Se ajustaron las dimensiones de ancho y largo para garantizar el volumen mínimo requerido. Se determinó un ancho superior de 25m y un largo superior de 55m, lo que resultó en un ancho inferior y largo inferior de 23m y 53m respectivamente. El volumen final se calculó según la Ecuación 31 y resultó de 881,64m³, lo que garantiza la necesidad mínima de la unidad. En la **Tabla 20** se observan los parámetros de diseño de esta laguna.

Tabla 20: *Parámetros de diseño de la laguna de maduración (Alternativa 2).*

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal de ingreso	3,55	m ³ /h
Altura	1,00	m
Inclinación del talud	45,00	°
Largo superior	55,00	m
Ancho superior	25,00	m
Área superior	0,14	ha
Largo inferior	53,00	m
Ancho inferior	23,00	m
Volumen	881,64	m ³
Tiempo de retención	10,35	d

Humedal artificial

Para el diseño de esta unidad se consideraron las guías de diseño propuestas por UN-HABITAT (2008). El tipo de humedal a diseñar es un humedal de flujo horizontal, dado que se ajusta mejor a los requerimientos de este proyecto. Para determinar el área transversal (A_c) de la unidad se aplicó la Ecuación 47, donde Q_{med} es el caudal medio de ingreso, K_f es la conductividad hidráulica de la conductividad hidráulica del lecho completamente desarrollado y el parámetro dH/ds es la pendiente del fondo del lecho. Se determinó un valor de K_f de 3×10^{-3} m/sm y un valor de dH/ds de 1%, tal como se sugiere en el manual consultado para un humedal de flujo horizontal. Se obtuvo un área transversal de $32,87\text{m}^2$.

Ecuación 47:

$$A_c = \frac{Q_{med}}{K_f * (dH/ds)}$$

Se determinó una profundidad de 60cm para el humedal y se calculó el ancho de la unidad dividiendo el área transversal por la profundidad determinada. Se obtuvo un ancho requerido de 54,78m. Dado que el ancho es mayor a 15m, se determinó que, para evitar el cortocircuito del agua, la unidad se dividirá en cuatro celdas paralelas de 14m de ancho, resultando en un ancho total efectivo de 56m.

Se determinó un largo de las celdas de 10m, lo que resulta en un área superficial del humedal (A_s) de 560m^2 y un volumen (V) de 336m^3 . Se calculó el tiempo de retención y se obtuvo un valor de 3,94 días.

Se calculó la concentración de salida de la DBO de la presente unidad (DBO_s) mediante la aplicación de la Ecuación 48, que deriva de la ecuación propuesta por Kickuth. DBO_e representa la concentración de DBO a la entrada de la unidad, A_s es el área superficial del humedal, K_{DBO} es la constante de velocidad de eliminación de DBO y Q_{med} es el caudal medio. El valor de K_{DBO} se determinó en 0,10m/d, dado que es el valor que corresponde a una temperatura de 10°C . Se obtuvo un valor de DBO de salida de 12mg/l, lo que representa una eficiencia de remoción del 48%.

Ecuación 48:

$$DBO_s = DBO_e * e^{-\frac{A_s * K_{DBO}}{Q_{med}}}$$

Se calculó la carga orgánica superficial aplicada al sistema (CSA) según la Ecuación 49, y se obtuvo un valor de 5,86gDBO/ha/día. Se comparó este valor con el sugerido por Dotro et

al. (2021) para un humedal de flujo horizontal para tratamiento terciario, y se verificó que la carga aplicada es menor a la máxima sugerida, que es de 13gDBO/ha/día.

Ecuación 49:

$$CSA = \frac{Q_{med} * DBO_e}{V}$$

En la **Tabla 21** se observan los parámetros de diseño de la presente unidad.

Tabla 21: Parámetros de diseño del humedal de flujo horizontal (Alternativa 1).

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal de ingreso	3,55	m ³ /h
Profundidad	0,60	m
Conductividad hidráulica	3x10 ⁻³	m/s
K _{DBO}	0,10	m/d
Pendiente	1,00	%
Carga orgánica superficial aplicada	5,86	gDBO/ha/día
Cantidad de unidades paralelas	4	unidades
Ancho de cada unidad	14,00	m
Largo de cada unidad	10,00	m
Área superficial total	560,00	m ²
Volumen	336,00	m ³
Tiempo de retención	3,94	d

La estructura de ingreso del efluente al humedal es una canaleta agujereada, con orificios cada 10cm para permitir el correcto ingreso del efluente al humedal, evitar el taponamiento y garantizar el correcto tratamiento del agua. La misma ocupará el ancho total de cada unidad de tratamiento. La estructura de recolección para el egreso del efluente del sistema es, al igual que la de ingreso, una tubería perforada. En este caso la tubería se encuentra enterrada al fondo de la unidad para garantizar la recolección de todo el efluente. El relleno a utilizar es grava, con un diámetro de 60mm en los 0,75m más extremos de ingreso y egreso del humedal, y grava de 10mm de diámetro en el resto del reactor.

Cámara de cloración

El principal objetivo de esta unidad es remover los microorganismos patógenos, siendo los principales los coliformes fecales. Si bien pueden utilizarse diversos métodos de desinfección se opta por una cámara de cloración, donde se aplicará hipoclorito de sodio como agente desinfectante. Para el diseño de esta unidad se considera un límite de 500 Unidades Formadoras de Colonias (UFC) por cada 100ml, lo que cumple con el límite de

2000UFC/100ml establecido por la Resolución N° 336/03 de la Provincia de Buenos Aires, considerando un margen de seguridad confiable.

Se determinó un tiempo de retención del efluente (θ) de 30 minutos, y se multiplicó por el valor del caudal que ingresa a la unidad para obtener el volumen útil requerido, que resultó de 1,80m³. Se determinó una altura útil (h_u) de 1,20m y una revancha por seguridad de 0,30m, resultando en una altura total (h_t) de 1,5m. Dividiendo el volumen útil requerido por la altura útil se obtuvo el área superficial útil de esta unidad (A_u), que resultó de 1,50m².

Se determinó un largo (l) de 2,60m, lo que resultó en un ancho útil (W_u) de 0,58m. Se determinó la instalación de dos tabiques, que resulta en la existencia de tres canales paralelos para el tratamiento. La relación entre el recorrido total del efluente y el ancho de cada canal resultó de 40,47, lo que cumple con el rango sugerido. Cada tabique cuenta con un espesor de 0,10m, lo que resulta en un área superficial total (A_t) de 2,02m² y un volumen total (V_t) de 3,03m³. Todas las dimensiones de esta unidad se encuentran listadas en la **Tabla 22**.

Para determinar la concentración de cloro necesaria para garantizar el correcto proceso de desinfección se aplicó la Ecuación 50, que deriva de despejar la concentración de cloro de la expresión de Collins-Selleck. Los parámetros N y N_0 corresponden a las concentraciones de patógenos de entrada y salida respectivamente, reportadas en UFC/100ml. La concentración de entrada a esta unidad se asume en 70.000 UFC/100ml, según lo reportado por Craggs et al. (2004). Se obtuvo una concentración requerida de desinfectante de 0,86mg/l. Al multiplicar este valor por el caudal diario se obtiene una dosis requerida de 73,47g/d.

Ecuación 50:

$$Cl = \left[\left(\frac{N}{N_0} \right)^{-1/3} - 1 \right] * \frac{1}{0,23 * \theta}$$

Tabla 22: *Parámetros de diseño de la cámara de cloración (Alternativa 1).*

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal de ingreso	3,55	m ³ /h
Tiempo de retención	30	min
Concentración de entrada	70.000	UFC/100ml
Concentración de salida	200	UFC/100ml
Dosis de cloro requerida	73,47	g/d
Largo	2,60	m

Altura útil	1,20	m
Altura total	1,50	m
Cantidad de tabiques	2	
Espesor de cada tabique	0,10	m
Área útil	1,50	m ²
Área total	2,02	m ²
Volumen útil	1,80	m ³
Volumen total	3,03	m ³

III.V. Cámara de toma de muestras y medición de caudales

La Resolución N° 607/12 de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable dispone que todos los establecimientos industriales y/o especiales alcanzados por el artículo 2° del Decreto N° 674/89, incluyendo sus modificaciones, tienen la obligación de instalar una Cámara de Toma de Muestras y Medición de Caudales (CTMyMC). Esta instalación es fundamental para permitir la fiscalización y el control por parte de la autoridad competente. En caso de incumplir con esta normativa, los establecimientos estarán sujetos a sanciones económicas que serán impuestas por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. El tambo analizado se encuentra dentro de los establecimientos mencionados en el artículo, por lo que resulta obligatoria la instalación de esta unidad.

La CTMyMC debe ubicarse dentro del predio de la planta, formando un nicho interno que permita un acceso libre desde el exterior, garantizando así la facilidad de inspección y monitoreo. Asimismo, la cámara debe diseñarse de forma tal que reduzca la velocidad del flujo a niveles prácticamente nulos antes de su descarga a través de un vertedero triangular, optimizando su funcionamiento y precisión en la toma de muestras.

El diseño de esta unidad está determinado por la resolución n° 607/12 de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Se selecciona el diseño que corresponde a caudales de hasta 25m³, dado que es el adecuado para el caudal de diseño del presente trabajo. Las dimensiones de la cámara se detallan en la **Figura 15**, donde se observa un corte transversal (**a**), un corte longitudinal (**b**) y una vista en planta de la unidad (**c**). La cámara contará con un total de 85cm de largo, 60cm de ancho y 1m de altura, conformando un área superficial de 0,51m² y un volumen de 0,51m³ (sin considerar el espesor de las paredes). Según el listado provisto en la resolución consultada, el caudal de diseño del presente proyecto dará una altura de 9cm en el vertedero para medición de caudales, que presenta un ángulo de 30°. Este diseño es válido para las dos alternativas propuestas.

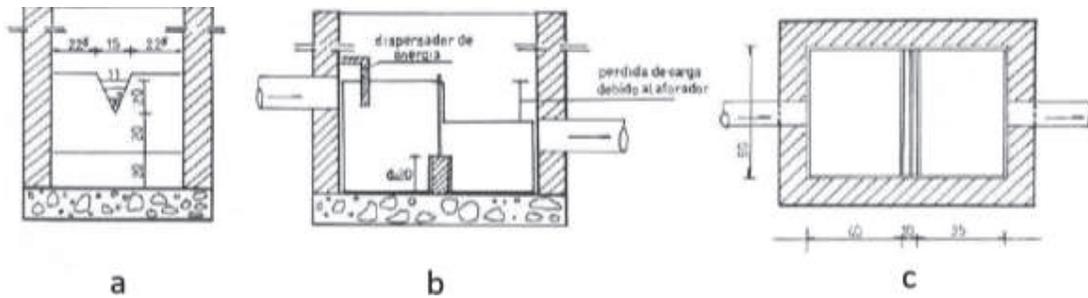


Figura 15: Cámara de toma de muestras y medición de caudales para caudales hasta 25m³/h.
a. Corte transversal. **b.** Corte longitudinal. **c.** Vista en planta.

Extraído de la Resolución N° 607/12 de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable

III.VI Tratamiento de lodos

Generación de lodos

Para diseñar correctamente el sistema de tratamiento de lodos se debe calcular su generación. Se identificaron las unidades que presentan generación de lodos en cada alternativa, siendo el *canasto* y el *sedimentador* dos unidades generadoras de lodos que ambas alternativas comparten. Además, en el caso de la *Alternativa 1*, las tres *lagunas de tratamiento* y el *humedal* presentan generación de lodos. Para hallar la masa de lodo generada en cada unidad de tratamiento (M_L) se aplicó la Ecuación 51, donde Q es el caudal medio de ingreso a la unidad analizada, SST es la concentración de sólidos suspendidos totales al ingreso de cada unidad y E_{SST} es la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales de cada unidad.

Ecuación 51:

$$M_L = Q * SST * E_{SST}$$

Para hallar el caudal de lodos generado en cada unidad debe conocerse su densidad. Las características de los lodos varían según la unidad donde se generan. Se utilizó la Ecuación 52 para hallar la densidad de los lodos generados en cada unidad (δ_L), donde los parámetros P_S y P_A corresponden a los porcentajes de sólidos y de agua de cada lodo generado; los parámetros S_S y S_A corresponden a las densidades relativas de los sólidos y del agua respectivamente y δ_A es la densidad del agua. Los parámetros de porcentajes y densidades relativas fueron extraídos de Romero Rojas (2014).

Ecuación 52:

$$\delta_L = \left[\frac{P_S}{S_S} + \frac{P_A}{S_A} \right]^{-1} * \delta_A * P_S$$

A partir de los valores obtenidos de la densidad de la masa de lodo en cada unidad se calculó el valor del caudal de lodo generado en cada unidad (Q_L) según la Ecuación 53.

Ecuación 53:

$$Q_L = \frac{M_L}{\delta_L}$$

Los resultados se reportan en la **Tabla 23**. Si bien la *Alternativa 1* cuenta con más unidades que generan lodos, la generación neta (en m³/día) resulta menor que en la *Alternativa 2*, que sólo cuenta con dos unidades generadoras de lodos.

Tabla 23: Generación de lodos en las distintas unidades de tratamiento según alternativa.

Unidad de tratamiento	Caudal [m ³ /d]	Sólidos suspendidos totales [mg/l]	Eficiencia de remoción de SST [%]	Masa de lodo generada [kg/d]	Porcentaje de humedad [%]	Porcentaje de sólidos [%]	Densidad relativa de sólido	Densidad relativa del lodo	Densidad real del lodo [kg/m ³]	Caudal de lodo generado [m ³ /d]
Alternativa 1										
Canasto	85,20	572,10	5%	2,44	90%	10%	1,40	1,03	102,63	0,02
Sedimentador	85,20	543,50	50%	23,15	95%	5%	1,40	1,01	50,57	0,46
Laguna anaeróbica	85,20	271,75	70%	16,21	90%	10%	1,70	1,04	103,98	0,16
Laguna facultativa 1	85,20	81,52	50%	3,47	90%	10%	1,70	1,04	103,98	0,03
Laguna facultativa 2	85,20	40,76	50%	1,74	90%	10%	1,70	1,04	103,98	0,02
Humedal	85,20	20,38	80%	1,39	90%	10%	1,70	1,04	103,98	0,01
Total alternativa 1										0,70
Alternativa 2										
Canasto	85,20	572,10	5%	2,44	90%	10%	1,40	1,03	102,63	0,02
Sedimentador	85,20	543,50	94%	43,53	95%	5%	1,40	1,01	50,57	0,86
Total alternativa 2										0,88

Si bien la generación de lodos es un proceso constante y puede contabilizarse en generación diaria, su recolección depende de la unidad de tratamiento. El canasto de retención de sólidos cuenta con una limpieza diaria, mientras que los lodos generados en el sedimentador primario se recolectan constantemente mediante cañerías y bombas. Por otro lado, en las lagunas y el humedal (*Alternativa 1*) el retiro será cada 5 años, mediante los

métodos establecidos en cada unidad. En la **Tabla 24** se reporta la frecuencia de recolección según la alternativa de tratamiento.

Tabla 24: Lodos recolectados según frecuencia y alternativa.

	Alternativa 1	Alternativa 2	Unidad
Cantidad recolectada en continuo (proveniente del canasto y sedimentador)	5,57E-06	1,02E-05	m ³ /s
Cantidad recolectada cada 5 años (proveniente de lagunas y humedal)	400,27	0,00	m ³ /5a

Deshidratación de lodos

Previo a su estabilización, los lodos generados durante el tratamiento del efluente deben ser deshidratados para reducir su volumen y facilitar su manejo. La primera etapa del tratamiento de lodos está compuesta por un espesador por gravedad. El mismo es un sedimentador circular, pero cuenta con barredoras de lodos para lograr que el lodo sedimentado sea más concentrado que el de ingreso. Su diseño es similar al de un sedimentador primario, pero se adapta considerando la concentración específica del lodo, la carga másica superficial (C_s) y una carga de rebose (C_R) que no debe exceder los 8 m/d.

El diseño de esta unidad varía según la alternativa analizada. En el caso de la *Alternativa 1* esta unidad se diseña únicamente para los lodos del canasto y del sedimentador primario, sin incluir las unidades que se limpian cada 5 años. El tratamiento de estos últimos es tercerizado. En este caso se calcula el área superficial requerida para el espesador según la Ecuación 54:, donde M_{TL} es la masa total de lodos generada y C_s es la carga superficial, que se adopta en 30 kg/m³día. Como resultado se obtiene un área superficial de 0,85 m² para la *Alternativa 1* y 1,53 m² para la *Alternativa 2*, que, considerando geometría circular, corresponde a un diámetro de la unidad de 1,04 m y 1,40 m respectivamente.

Ecuación 54:

$$A_s = \frac{M_{TL}}{C_s}$$

La carga de rebose es el siguiente parámetro de diseño para la presente unidad y se calcula según la Ecuación 55. El parámetro %S representa el porcentaje de concentración de sólidos, que se determina en 2% (Romero Rojas, 2004) y S_L es la densidad relativa de los lodos, que se halla según lo expuesto en la **Tabla 23**. El valor obtenido para la carga de

rebose es de 1,47 m/d para ambas alternativas, lo que cumple con el requerimiento de que sea menor a 8 m/d.

Ecuación 55:

$$C_R = \frac{M_{TL}}{\%S * A_S * S_L}$$

Se adopta un valor para la altura de la zona de espesamiento (h_{esp}) de 2m, lo que implica que esta zona presenta un volumen de 1,71m³ (*Alternativa 1*) y 3,06m³ (*Alternativa 2*). Se calcula el tiempo de permanencia (t_P) según la Ecuación 56. Se obtuvo un tiempo de permanencia de 1,36 días para ambas alternativas analizadas, lo que se encuentra dentro del rango aceptable (de 1 a 2 días).

Ecuación 56:

$$t_P = \frac{V}{A_S * C_R}$$

Las zonas de entrada, salida y de barros se diseñan siguiendo el mismo procedimiento que el detallado en la sección de diseño del sedimentador primario. Algunos parámetros fueron ajustados para esta sección. El ángulo externo de la zona de lodos se fijó en 25° para permitir la instalación de las barredoras de lodos, y se adoptó un diámetro de salida de 60cm. Los parámetros de diseño de esta unidad se detallan en la **Tabla 25**, diferenciado según la alternativa a la que corresponde.

Tabla 25: Parámetros de diseño del espesador por gravedad (según alternativa).

Parámetro	Alternativa 1	Alternativa 2	Unidad
Dimensiones totales			
Volumen total	1,78	3,26	m ³
Altura total	2,10	2,19	m ²
Diámetro	1,04	1,40	m
Zona de sedimentación			
Masa de lodo total	25,59	45,96	kg/d
Carga superficial	30,00	30,00	m ³ /m ² /d
Área de sedimentación	0,85	1,53	m ²
Carga de rebose	1,47	1,47	m/d
Tiempo de permanencia	1,36	1,36	d
Volumen zona sedimentación	1,71	3,06	m ³
Altura zona sedimentación	2,00	2,00	m
Zona de lodos			

Ángulo externo	25	25	°
Diámetro inferior	0,60	0,60	m
Área inferior	0,28	0,28	m ²
Altura tolva	0,10	0,19	m
Volumen tolva	0,08	0,20	m ³
Zona de descarga			
Ángulo del vertedero	90	90	°
Caudal de salida por vertedero	2,32*10 ⁻⁴	2,32*10 ⁻⁴	m ³ /s
Número de vertederos	5	5	Vertederos
Altura real del vertedero	0,05	0,05	m
Ancho real del vertedero	0,10	0,10	m
Longitud que ocupan los vertederos	0,50	0,50	m
Espacio entre vertederos	0,55	0,78	m
Velocidad en el canal	0,02	0,02	m/s
Área del canal	0,05	0,05	m ²
Ancho del canal	0,30	0,30	m
Altura pared interna	0,16	0,16	m
Altura pared externa	0,41	0,41	m
Pendiente	3,00*10 ⁻³	3,00*10 ⁻³	m/m

Luego de pasar por el espesador, los lodos son conducidos a un filtro prensa para minimizar el contenido de humedad. Se seleccionó el filtro modelo FPSA 47 del proveedor Toro, que es un equipo semi automático que permite procesar los caudales requeridos para cualquiera de las alternativas. Se selecciona el modelo de 20 placas y 19 cámaras, que posee una longitud de 2,3m y un ancho de 1,1m. Esta unidad no opera de modo continuo, sino que realizará un ciclo diario de 30 minutos. Posee un consumo eléctrico de 6kW.

Como resultado se obtienen los lodos deshidratados, con un contenido de humedad del 65%. Este valor es considerado aceptable para la realización de pilas de compostaje. Los caudales destinados a compostaje son de 0,07 m³/semana para la *Alternativa 1* y 0,13 m³/semana para la *Alternativa 2*. Primero son almacenados en un tanque de 1m³ en la *Alternativa 1* y 2m³ en la *Alternativa 2* que se vacía con una frecuencia semanal. En ambos casos el modo de vaciado del tanque es manual, por lo que se determina una altura de 1m, lo que resulta en un diámetro de 1,13m para la *Alternativa 1* y 1,60m para la *Alternativa 2*.

Estabilización de lodos

La estabilización de los lodos se realiza mediante la instalación de un sistema de compostaje de pilas aireadas. Se recomienda la mezcla de los lodos filtrados con otros

materiales estructurantes, como residuos de poda, aserrín o materiales secos que estén a disposición. Además, el material de las pilas debe voltearse al menos tres veces por semana, favoreciendo la oxigenación de la mezcla y la remoción de humedad excedente.

El volumen de cada pila está determinado por el volumen de lodos a la salida del filtro. Se determina un tiempo de estabilización de 28 días para cada pila creada. En el caso de la *Alternativa 1* la creación de pilas sólo contempla los lodos provenientes del canasto y de sedimentador primario. Los lodos de las lagunas son recolectados por un tercero que se encarga de su tratamiento cada 5 años, tal como fue establecido previamente. Para ambas alternativas existirán dos pilas operando en paralelo, una que será alimentada semanalmente durante un mes mientras la otra se deja reposar para garantizar la estabilización de los lodos.

El volumen de lodos a compostar en la *Alternativa 1* es de $0,29\text{m}^3$ cada 28 días. Las pilas de compostaje se determinaron de 1,00 m de largo y 0,40 m de ancho, con una profundidad de 80cm. Se diseñan como un cono truncado de 10° de inclinación del talud por lo que el área inferior es de $0,40\text{ m}^2$ y el área superior es de $0,08\text{ m}^2$. Esto alcanza un volumen de $0,31\text{m}^3$, lo que cubre la generación de lodos y permite un margen para adicionar otros materiales. Para la *Alternativa 2* la generación de lodos es de $0,50\text{ m}^3$ cada 28 días, por lo que las pilas se diseñan de 1,20 m de largo inferior, 0,50 m de ancho inferior y 1 m de profundidad. También se diseñan como conos truncados con el mismo ángulo de inclinación del talud, lo que resulta en un área superior de $0,12\text{ m}^2$ y un volumen de $0,53\text{ m}^3$ en cada pila. Las dimensiones se resumen en la **Tabla 26**.

Tabla 26: *Parámetros de diseño de las pilas de compostaje de lodos.*

Parámetro	Alternativa 1	Alternativa 2	Unidad
Cantidad de pilas operando en simultáneo	2	2	pilas
Forma	Cono truncado	Cono truncado	-
Profundidad	0,80	1,00	m
Largo inferior	1,00	1,20	m
Ancho inferior	0,40	0,50	m
Área inferior	0,40	0,60	m^2
Inclinación del talud	10	10	$^\circ$
Largo superior	0,72	0,85	m
Ancho superior	0,12	0,15	m
Área superior	0,08	0,12	m^2
Volumen de una pila	0,31	0,53	m^3
Volumen requerido	0,29	0,50	m^3

Al final del período de estabilización de cada pila el material estabilizado será utilizado dentro del complejo como abono en los lugares dentro del predio que se considere necesario. En caso de no ser necesario en el complejo puede ser comercializado, o, de no contar con un comprador, será dispuesto como un residuo en el sitio de disposición final acorde a la jurisdicción.

III.VII Sistema de conducción

El sistema de conducción tiene como propósito principal el transporte eficiente del efluente y de los lodos generados entre las distintas unidades que conforman la planta de tratamiento de efluentes líquidos. Este sistema está compuesto por tres elementos fundamentales: las tuberías, los accesorios necesarios para su correcta operación, y las bombas que aseguran el flujo en las condiciones requeridas.

En el presente diseño, para simplificar los cálculos y facilitar su análisis, se considera que el efluente industrial se comporta como un fluido ideal. Esto implica asumir que es un fluido no viscoso, incompresible e irrotacional. Asimismo, se establece que el flujo en todas las tuberías es turbulento, bajo un régimen de estado estacionario, lo que resulta coherente con las características del sistema. Si bien el efluente se considera un fluido no viscoso, los lodos se consideran líquidos viscosos debido a su alto contenido de sólidos.

En cuanto a las líneas de conducción, se toman como referencia las velocidades recomendadas para líquidos de baja viscosidad: entre 1,2 y 2,4 m/s para flujo impulsado por bombeo, y entre 0,15 y 0,3 m/s para flujo por gravedad. Para este último caso, se considera una pendiente mínima del 3‰, tal como se detalla en la **Tabla 27**. Por lo tanto, en este diseño se adoptan valores representativos: una velocidad de 0,15 m/s para las líneas de flujo por gravedad y 1,2 m/s para las líneas impulsadas por bombeo. Para el caso del transporte de lodos se adopta una velocidad de 0,15 m/s. Estos parámetros han sido seleccionados con el objetivo de garantizar tanto la funcionalidad del sistema como su eficiencia operativa, minimizando pérdidas energéticas y asegurando la continuidad del transporte en todas las condiciones previstas.

Tabla 27: Velocidades recomendadas para flujo en tuberías (McCabe et al., 1998 & ENOHS, 2021).

Fluido	Tipo de flujo	Velocidad [m/s]
Líquido poco viscoso	Flujo por gravedad	0,15 - 0,30
	Entrada de bomba	0,30 - 0,90
	Salida de bomba	1,20 - 3,00

	Línea de conducción	0,60 – 3,00
Líquido viscoso	Entrada de bomba	0,06 – 0,15
	Salida de bomba	0,15 – 0,60
Vapor de agua	-	9,00 – 15,00
Aire o gas	-	9,00 – 30,00

Todas las tuberías instaladas en el sistema de conducción son de tipo cerrado y están fabricadas en PVC, al igual que los accesorios utilizados. Este material se selecciona por sus múltiples ventajas, entre las que destacan su elevada resistencia mecánica y química, su baja rugosidad hidráulica, su facilidad de instalación y transporte, su alta durabilidad y sus bajos requerimientos de mantenimiento. Además, el uso de PVC contribuye a minimizar riesgos ambientales y sanitarios, haciendo que el sistema sea más seguro y confiable.

Con el objetivo de optimizar la eficiencia energética y reducir costos operativos, se busca que las tuberías sean lo más cortas posibles y que el diseño minimice la cantidad de accesorios, bombas y cambios de dirección. Esto se debe a que todos estos elementos incrementan las pérdidas de carga en el sistema, lo que puede elevar los costos energéticos y complicar la operación del sistema de conducción.

Como primer paso en el diseño, es fundamental identificar y nombrar los diferentes tramos que componen el sistema de conducción. En la **Tabla 28 (Alternativa 1)** y la **Tabla 29 (Alternativa 2)** se detallan estos tramos, incluyendo su denominación específica, así como las unidades de tratamiento en las que inicia y finaliza cada tramo. Además, se indica a qué línea de tratamiento pertenece cada tramo. En el caso de la *Alternativa 1* las líneas de conducción se dividen en transporte de **efluente (E)** y de **lodos (L)**, mientras que en el caso de la *Alternativa 2* también existe la línea de **biomasa (B)** que corresponde a la generación del bioestimulante a partir de la cosecha de las microalgas. También se incluye un apartado de los tramos de cañería destinados a la recirculación.

Tabla 28: Denominación y descripción de los tramos que componen al sistema de conducción en la **Alternativa 1.**

Línea	Denominación	Unidad inicial	Unidad final	Etapa
E	I.1A	Ordeñe	Ecuilizador	Pretratamiento
E	I.1B	Cloacal	Ecuilizador	
E	I.1C	Ecuilizador	Sedimentador primario	
E	I.2A	Sedimentador primario	División	Tratamiento primario
E	I.2B	División	Laguna anaeróbica 1	
E	I.2C	División	Laguna anaeróbica 2	
E	I.3A	Laguna anaeróbica 1	Unión	Tratamiento secundario

E	I.3B	Laguna anaeróbica 2	Unión	
E	I.3C	Unión	Laguna facultativa 1	
E	I.3D	Laguna facultativa 1	Laguna facultativa 2	
E	I.3E	Laguna facultativa 2	Humedal	
E	I.4A	Humedal	Cámara de cloración	
E	I.4B	Cámara de cloración	Cámara de toma de muestra	Tratamiento terciario
E	I.4C	Cámara de toma de muestra	Río Salado	
L	I.5A	Sedimentador primario	Espesador de lodos	
L	I.5B	Espesador de lodos	Filtro prensa	Tratamiento de lodos
L	I.5C	Filtro prensa	Tanque de almacenamiento	
E	I.6A	Espesador de lodos	Ecuador	Recirculación
E	I.6B	Filtro prensa	Ecuador	

Tabla 29: Denominación y descripción de los tramos que componen al sistema de conducción en la **Alternativa 2.**

Línea	Denominación	Unidad inicial	Unidad final	Etapas
E	II.1A	Ordeño	Ecuador	Pretratamiento
E	II.1B	Cloacal	Ecuador	
E	II.1C	Ecuador	Coagulación-floculación	
E	II.2A	Coagulación-floculación	Sedimentador primario	Tratamiento primario
E	II.2B	Sedimentador primario	División	
E	II.2C	División	Raceway 1	
E	II.2D	División	Raceway 2	
E	II.3A	Raceway 1	Unión	
E	II.3B	Raceway 2	Unión	Tratamiento secundario
E	II.3C	Unión	Coagulación-floculación 2	
E	II.3D	Coagulación-floculación 2	Sedimentador secundario	
E	II.3E	Sedimentador secundario	Laguna de maduración	Tratamiento terciario
E	II.4A	Laguna de maduración	Cámara de toma de muestra	
E	II.4B	Cámara de toma de muestra	Río Salado	
B	II.5A	Sedimentador secundario	Centrífuga	Generación del bioestimulante
B	II.5B	Centrífuga	Almacenamiento	
L	II.6A	Sedimentador primario	Espesador de lodos	Tratamiento de lodos
L	II.6B	Espesador de lodos	Filtro prensa	
L	II.6C	Filtro prensa	Tanque de almacenamiento	
E	II.7A	Espesador de lodos	Ecuador	Recirculación
E	II.7B	Filtro prensa	Ecuador	
E	II.7C	Centrífuga	Unión	

La denominación de cada tramo indica la alternativa a la que corresponde (*I* o *II*), la etapa de la que forma parte (numerada en orden), y el tramo dentro de esa unidad (indicado con una letra en orden alfabético). Una vez determinados los tramos de cañería que componen

al sistema de conducción en cada alternativa se procede a determinar si el flujo en los mismos se realiza por gravedad o por bombeo. Se determina que las únicas instancias de bombeo en la línea del **efluente** se encuentran en la cañería 1C en ambas alternativas, que corresponde a la salida del equalizador y luego del tratamiento terciario en ambos casos, para lograr que la descarga al río se realice en su totalidad por gravedad. Tanto los **lodos** como la **biomasa** fluyen por bombeo dado que son fluidos viscosos, mientras que la **recirculación** se realiza por gravedad.

Diseño de cañerías

Para el diseño de las cañerías es fundamental conocer tres parámetros clave: el diámetro nominal (DN), el diámetro exterior (DE) y el diámetro interior (DI). El diámetro nominal (DN) es una medida de referencia utilizada principalmente para identificar y clasificar las tuberías, dependiendo del material con el que están fabricadas. El diámetro exterior (DE) representa el máximo valor de sección externa de la tubería, mientras que el diámetro interior (DI) corresponde al diámetro hidráulicamente útil, es decir, el que realmente participa en el flujo del fluido.

En el caso de las tuberías de PVC, existe una particularidad: su diámetro nominal coincide con el diámetro exterior. Sin embargo, el diámetro interior puede variar dependiendo del diámetro nominal y de la presión máxima que la tubería está diseñada para soportar. Esto significa que, para un mismo diámetro nominal, es posible encontrar diferentes diámetros internos y espesores de pared, lo que permite adaptar las tuberías a distintos requerimientos de presión y flujo dentro del sistema. Esta flexibilidad es una de las razones por las que el PVC es un material ampliamente utilizado en sistemas de conducción.

El diseño de las cañerías difiere si la fuerza impulsora del fluido es la gravedad o el bombeo. Para el primer caso, donde el fluido se mueve por gravedad, se considera que las cañerías se encuentran parcialmente llenas, tal como se muestra en el esquema de la **Figura 16**. Allí se observa que sólo una porción de la tubería se encuentra sumergida. El ángulo desde la superficie de la lámina hasta el centro del tubo (Θ) se determina según el tramo correspondiente. Los valores oscilan entre 65° y 124° dependiendo del caudal y la velocidad determinada. Para los tramos destinados a recirculación existe una excepción donde los ángulos resultan menores a 40° . Esto sucede debido que no existen tuberías lo suficientemente pequeñas para transportar esos caudales con ángulos superiores.

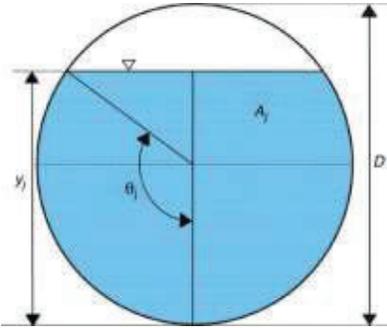


Figura 16: Esquema de una tubería parcialmente llena (Pozos-Estrada et al., 2017).

Para hallar el diámetro necesario en cada tramo se asoció el caudal que debe circular por cada uno de ellos, considerando a qué sección del tratamiento pertenecen. Además, se fijaron las velocidades de escurrimiento según lo detallado en la sección previa. A partir de estos valores se determinó el área mojada (A_m) de cada unidad según la Ecuación 57. Allí Q simboliza el caudal (medido en m^3/s) que circula por cada tramo de cañería y v simboliza la velocidad de escurrimiento (en m/s), que depende del fluido y de la fuerza impulsora del flujo en cada tramo.

Ecuación 57:

$$A_m = \frac{Q}{v}$$

A partir del área mojada requerida para cada tramo de cañería se determinó el diámetro necesario (D), el perímetro mojado (P_m) y el radio hidráulico (R_h) según las relaciones geométricas detalladas en las ecuaciones Ecuación 58, Ecuación 59 y Ecuación 60.

Ecuación 58:

$$D = \sqrt{\frac{4 * A_m}{\theta - \text{sen}(\theta) * \cos(\theta)}}$$

Ecuación 59:

$$P_m = D * \theta$$

Ecuación 60:

$$R_h = \frac{A_m}{P_m}$$

A modo de verificación se aplica, para cada uno de los tramos en los que el flujo circula por gravedad, la ecuación de Chezy-Manning, que se observa en la Ecuación 61. Mediante este método se verifica que la velocidad de escurrimiento cumpla con las recomendaciones de la **Tabla 27**. La pendiente determinada para cada tramo (simbolizada como l) es de 3‰,

que es un valor recomendado para este tipo de sistemas (ENOHSA, 2021). Allí el parámetro n representa el coeficiente de Manning, que para PVC corresponde a 0,011.

Ecuación 61:

$$v = \frac{1}{n} * R_h^{2/3} * I^{1/3}$$

A diferencia de las cañerías donde el flujo circula por gravedad, las cañerías donde la fuerza impulsora es el bombeo operan completamente llenas. Es por esto que la determinación del diámetro de estas cañerías difiere de lo determinado anteriormente. Si bien el área mojada requerida se determina según la Ecuación 57, el diámetro se determina utilizando la ecuación de área de una circunferencia completa. Lo mismo sucede con el perímetro mojado, donde se aplica la ecuación de perímetro de un círculo.

Los resultados de aplicar estas ecuaciones sobre los tramos identificados para cada alternativa se exhiben en la **Tabla 30 (Alternativa 1)** y la **Tabla 31 (Alternativa 2)**. Allí se observa la descripción de cada tramo, el caudal que tiene asociado y los parámetros mencionados previamente.

Tabla 30: *Parámetros y dimensiones de los tramos de cañería requeridos para el diseño de la Alternativa 1.*

Denominación	Caudal del tramo [m³/s]	Gravedad/ Bombeo	Diámetro interno [mm]	Velocidad de escurrimiento [m/s]	Área mojada [m²]	Perímetro mojado [m]	Radio hidráulico [m]
I.1A	6,62E-03	G	200,00	0,60	1,10E-02	1,94E-01	5,67E-02
I.1B	1,04E-05	G	10,00	0,60	1,74E-05	8,91E-03	1,95E-03
I.1C	9,86E-04	B	31,75	1,25	7,92E-04	9,97E-02	7,94E-03
I.2A	9,86E-04	G	50,00	0,60	1,64E-03	4,14E-02	3,97E-02
I.2B	4,93E-04	G	40,00	0,60	8,22E-04	3,88E-02	2,12E-02
I.2C	4,93E-04	G	40,00	0,60	8,22E-04	3,88E-02	2,12E-02
I.3A	4,93E-04	G	40,00	0,60	8,22E-04	3,88E-02	2,12E-02
I.3B	4,93E-04	G	40,00	0,60	8,22E-04	3,88E-02	2,12E-02
I.3C	9,86E-04	G	50,00	0,60	1,64E-03	4,14E-02	3,97E-02
I.3D	9,86E-04	G	50,00	0,60	1,64E-03	4,14E-02	3,97E-02
I.3E	9,86E-04	G	50,00	0,60	1,64E-03	4,14E-02	3,97E-02
I.4A	9,86E-04	B	31,75	1,25	7,92E-04	9,97E-02	7,94E-03
I.4B	9,86E-04	G	50,00	0,60	1,64E-03	4,14E-02	3,97E-02
I.4C	9,86E-04	G	50,00	0,60	1,64E-03	4,14E-02	3,97E-02
I.5A	5,30E-06	B	10,00	0,07	7,85E-05	3,14E-02	2,50E-03
I.5B	1,78E-04	B	40,00	0,14	1,26E-03	1,26E-01	1,00E-02
I.6A	1,87E-06	G	10,00	0,60	3,12E-06	5,52E-03	5,65E-04
I.6B	3,58E-06	G	10,00	0,60	5,97E-06	6,72E-03	8,89E-04

Tabla 31: Parámetros y dimensiones de los tramos de cañería requeridos para el diseño de la **Alternativa 2.**

Denominación	Caudal del tramo [m ³ /s]	Gravedad/Bombeo	Diámetro interno [m]	Velocidad de escurrimiento [m/s]	Área mojada [m ²]	Perímetro mojado [m]	Radio hidráulico [m]
II.1A	6,62E-03	G	200,00	0,60	1,10E-02	1,94E-01	5,67E-02
II.1B	1,04E-05	G	10,00	0,60	1,74E-05	8,91E-03	1,95E-03
II.1C	9,86E-04	B	31,75	1,25	7,92E-04	9,97E-02	7,94E-03
II.2A	9,86E-04	G	50,00	0,60	1,64E-03	4,14E-02	3,97E-02
II.2B	9,86E-04	G	50,00	0,60	1,64E-03	4,14E-02	3,97E-02
II.2C	4,93E-04	G	40,00	0,60	8,22E-04	3,88E-02	2,12E-02
II.2D	4,93E-04	G	40,00	0,60	8,22E-04	3,88E-02	2,12E-02
II.3A	4,93E-04	G	40,00	0,60	8,22E-04	3,88E-02	2,12E-02
II.3B	4,93E-04	G	40,00	0,60	8,22E-04	3,88E-02	2,12E-02
II.3C	9,86E-04	G	50,00	0,60	1,64E-03	4,14E-02	3,97E-02
II.3D	9,86E-04	G	50,00	0,60	1,64E-03	4,14E-02	3,97E-02
II.3E	9,86E-04	G	50,00	0,60	1,64E-03	4,14E-02	3,97E-02
II.4A	9,86E-04	B	31,75	1,25	7,92E-04	9,97E-02	7,94E-03
II.4B	9,86E-04	G	50,00	0,60	1,64E-03	4,14E-02	3,97E-02
II.5A	2,04E-05	B	10,00	0,26	7,86E-05	3,14E-02	2,50E-03
II.5B	1,27E-05	B	10,00	0,16	7,85E-05	3,14E-02	2,50E-03
II.6A	9,96E-06	B	10,00	0,13	7,86E-05	3,14E-02	2,50E-03
II.6B	3,19E-04	B	50,00	0,16	1,96E-03	1,57E-01	1,25E-02
II.7A	3,59E-06	G	10,00	0,60	5,98E-06	3,14E-02	1,90E-04
II.7B	6,44E-06	G	10,00	0,60	1,07E-05	3,14E-02	3,42E-04
II.7C	7,72E-06	G	10,00	0,60	1,29E-05	3,14E-02	4,09E-04

Pérdida de carga en cañerías

En un sistema de conducción, las pérdidas de carga representan la pérdida de energía dinámica del fluido debido a la fricción entre las partículas del mismo y con las paredes del conducto. Estas pérdidas pueden clasificarse en dos tipos: continuas y localizadas. Las pérdidas continuas ocurren a lo largo de tramos regulares de tubería, mientras que las localizadas se generan en elementos particulares del sistema, como accesorios, cambios de dirección, estrechamientos o ampliaciones.

La magnitud de las pérdidas de carga es proporcional al cuadrado de la velocidad del fluido, lo que implica que adquieren mayor relevancia a velocidades elevadas. Por esta razón, en conducciones donde el flujo se da a baja velocidad, como en sistemas por gravedad, las pérdidas de carga localizadas suelen ser despreciables en comparación con las pérdidas continuas.

Las pérdidas de carga continuas en los tramos rectos se calculan según la Ecuación de Haaland (Ecuación 62). h_f es la pérdida de carga por fricción (en metros), L es la longitud del tramo, D el diámetro de la tubería, Q el caudal del tramo y g la aceleración de la gravedad.

Ecuación 62:

$$h_f = \frac{32 * f * L * Q^2}{g * \pi^2 * D^5}$$

Para hallar la pérdida de carga se requiere conocer el factor f , que simboliza el factor de fricción de Fanning. Este valor será particular para cada tramo, dado que depende del diámetro de la cañería. El factor se calcula según la Ecuación 63, donde Re es el número de Reynolds y ϵ es la rugosidad de la cañería, que para PVC es de 0,002mm.

Ecuación 63:

$$f = \left[-3,6 * \log_{10} \left(\frac{6,9}{Re} + \left(\frac{\epsilon}{3,7 * D} \right)^{10/9} \right) \right]^{-2}$$

El número de Reynolds (Re) resulta necesario para hallar el factor de fricción. El mismo se calcula según la Ecuación 64, donde D es el diámetro de la cañería, v es la velocidad de escurrimiento, ρ es la densidad del fluido (se considera válida la densidad del agua a 20°C) y μ es la viscosidad cinemática (nuevamente se considera la del agua a 20°).

Ecuación 64:

$$Re = \frac{D * v * \rho}{\mu}$$

La pérdida de carga localizada no presenta una longitud característica por lo que la Ecuación 62 no es aplicable. En cambio, se aplica la Ecuación 65, en la que se observa que la fricción en los accesorios depende de la velocidad al cuadrado y de la constante K_{acc} , que es la constante de fricción asociada a los accesorios. En el caso donde los tramos de cañería contengan más de un accesorio, K_{acc} toma el valor de la sumatoria de las constantes de cada accesorio individual. En la **Tabla 32** se observa un listado de los valores de las constantes de fricción para los accesorios utilizados en el presente proyecto.

Ecuación 65:

$$h_{f,acc} = K_{acc} \frac{v^2}{2 * g}$$

Tabla 32: Constantes de fricción para accesorios en cañerías.

Accesorio	K_{acc}
Tubo de Venturi	2,50
Válvula anti retorno	2,00
Codo de 90° estándar	0,70
Tubo en T (conducto recto)	1,60
Tubo en T (salida lateral)	0,40
Válvula de compuerta	0,15

Los accesorios instalados en cada tramo junto con las constantes K_{acc} se exhiben en la **Tabla A 3** y la **Tabla A 4** del Anexo I/Anexo II. En la **Tabla 33** y la **Tabla 34** se observan los parámetros calculados de pérdida de carga en cada uno de los tramos determinados previamente para la *Alternativa 1* y la *Alternativa 2* respectivamente.

Tabla 33: Parámetros de pérdida de carga en las cañerías del sistema de conducción de la *Alternativa 1*.

Denominación	Número de Reynolds	Largo del tramo [m]	Rugosidad relativa	Factor de fricción de Fanning	Pérdida de carga en tubería [m]	Pérdida de carga en accesorios [m]	Pérdida de carga total [m]
I.1A	1,20E+08	8,00	1,00E-05	2,04E-03	7,38E-04	1,28E-02	1,36E-02
I.1B	6,00E+06	8,00	2,00E-04	3,47E-03	9,98E-03	1,28E-02	2,28E-02
I.1C	3,95E+07	12,00	6,30E-04	4,40E-03	5,26E-01	1,21E-01	6,47E-01
I.2A	3,00E+07	2,00	4,00E-05	2,56E-03	5,27E-03	2,94E-02	3,46E-02
I.2B	2,40E+07	2,00	5,00E-05	2,67E-03	4,19E-03	1,28E-02	1,70E-02
I.2C	2,40E+07	2,00	5,00E-05	2,67E-03	4,19E-03	1,28E-02	1,70E-02
I.3A	2,40E+07	4,00	5,00E-05	2,67E-03	8,37E-03	1,28E-02	2,12E-02
I.3B	2,40E+07	4,00	5,00E-05	2,67E-03	8,37E-03	1,28E-02	2,12E-02
I.3C	3,00E+07	4,00	4,00E-05	2,56E-03	1,05E-02	2,94E-02	3,99E-02
I.3D	3,00E+07	4,00	4,00E-05	2,56E-03	1,05E-02	0,00E+00	1,05E-02
I.3E	3,00E+07	4,00	4,00E-05	2,56E-03	1,05E-02	6,97E-02	8,03E-02
I.4A	3,95E+07	4,00	6,30E-04	4,40E-03	1,75E-01	4,90E-01	6,66E-01
I.4B	3,00E+07	2,00	4,00E-05	2,56E-03	5,27E-03	0,00E+00	5,27E-03
I.4C	3,00E+07	345,50	4,00E-05	2,56E-03	9,11E-01	0,00E+00	9,11E-01
I.5A	6,75E+05	10,00	2,00E-04	3,73E-03	3,47E-03	8,48E-04	4,32E-03
I.5B	5,66E+06	4,00	5,00E-05	2,76E-03	1,12E-03	4,18E-03	5,30E-03
I.6A	6,00E+06	10,00	2,00E-04	3,47E-03	4,01E-04	3,85E-02	3,89E-02
I.6B	6,00E+06	10,00	2,00E-04	3,47E-03	1,47E-03	3,85E-02	4,00E-02

Tabla 34: Parámetros de pérdida de carga en las cañerías del sistema de conducción de la **Alternativa 2.**

Denominación	Número de Reynolds	Largo del tramo [m]	Rugosidad relativa	Factor de fricción de Fanning	Pérdida de carga en tubería [m]	Pérdida de carga en accesorios [m]	Pérdida de carga total [m]
II.1A	1,20E+08	8,00	1,00E-05	2,04E-03	7,38E-04	1,28E-02	1,36E-02
II.1B	6,00E+06	8,00	2,00E-04	3,47E-03	9,98E-03	1,28E-02	2,28E-02
II.1C	3,95E+07	12,00	6,30E-05	2,76E-03	3,30E-01	5,22E-01	8,52E-01
II.2A	3,00E+07	4,00	4,00E-05	2,56E-03	1,05E-02	0,00E+00	1,05E-02
II.2B	3,00E+07	2,00	4,00E-05	2,56E-03	5,27E-03	2,94E-02	3,46E-02
II.2C	2,40E+07	2,00	5,00E-05	2,67E-03	4,19E-03	1,28E-02	1,70E-02
II.2D	2,40E+07	2,00	5,00E-05	2,67E-03	4,19E-03	1,28E-02	1,70E-02
II.3A	2,40E+07	2,00	5,00E-05	2,67E-03	4,19E-03	1,28E-02	1,70E-02
II.3B	2,40E+07	2,00	5,00E-05	2,67E-03	4,19E-03	1,28E-02	1,70E-02
II.3C	3,00E+07	2,00	4,00E-05	2,56E-03	5,27E-03	2,94E-02	3,46E-02
II.3D	3,00E+07	4,00	4,00E-05	2,56E-03	1,05E-02	0,00E+00	1,05E-02
II.3E	3,00E+07	4,00	4,00E-05	2,56E-03	1,05E-02	0,00E+00	1,05E-02
II.4A	3,95E+07	2,00	6,30E-05	2,76E-03	5,51E-02	0,00E+00	5,51E-02
II.4B	3,00E+07	299,68	4,00E-05	2,56E-03	7,90E-01	0,00E+00	7,90E-01
II.5A	2,60E+06	7,00	2,00E-04	3,52E-03	3,40E-02	1,02E-02	4,42E-02
II.5B	1,62E+06	2,00	2,00E-04	3,57E-03	3,82E-03	1,66E-02	2,04E-02
II.6A	1,27E+06	10,00	2,00E-04	3,60E-03	1,18E-02	1,00E-02	2,18E-02
II.6B	8,13E+06	6,00	4,00E-05	2,64E-03	1,70E-03	1,49E-02	1,67E-02
II.7A	6,00E+06	10,00	2,00E-04	3,47E-03	1,47E-03	3,85E-02	4,00E-02
II.7B	6,00E+06	10,00	2,00E-04	3,47E-03	4,77E-03	3,85E-02	4,33E-02
II.7C	6,00E+06	10,00	2,00E-04	3,47E-03	6,82E-03	3,85E-02	4,54E-02

A partir de lo detallado previamente se pudo determinar la cantidad de caños necesarios para cada alternativa analizada. Esta información se observa en la **Tabla 35**. La variación de proveedores se debe a la alta variabilidad en los diámetros requeridos. Los catálogos de las cañerías se detallan en la **Figura A 7** y la **Figura A 8** del Anexo II.

Tabla 35: Tipos y cantidades de caños requeridos para la operación de cada alternativa analizada.

Diámetro interno		Proveedor	Producto	Longitud por tramo [m]	Cantidad de unidades requeridas	
mm	in				Alternativa 1	Alternativa 2
10	0,39	MarketPlastics	Tubo PVC 10mm	1	38	57
31,75	1,25	Tubonor	Hidro 3 Verde 007000050	6	2	2
40	1,57	Plastiflex	TS040200P	4	4	2
50	1,97	Plastiflex	TS050200P	4	92	81
200	7,87	Plastiflex	TS200250P	4	2	2

Nivelación de las unidades de tratamiento

En este apartado se presenta un esquema que ilustra el nivel de enterramiento de cada unidad que conforma el tren de tratamiento. Este diseño tiene como objetivo principal favorecer que la mayoría de las conducciones funcionen por gravedad, optimizando así la eficiencia energética del sistema.

La disposición de las unidades permite determinar la cantidad de bombas necesarias y su ubicación estratégica para garantizar una conducción adecuada a lo largo de toda la planta de tratamiento. Este análisis es crucial para minimizar el uso de energía y asegurar un flujo continuo en todas las etapas del tratamiento.

En la **Figura 17** y la **Figura 18** se muestran esquemas de la planta de tratamiento para la *Alternativa 1* y la *Alternativa 2* respectivamente. Allí se indica, para las unidades más relevantes, la altura sobre el nivel del suelo (en metros), la profundidad de enterramiento (en metros), así como la posición de las conducciones y las bombas. En la **Figura 19** se exhibe un esquema similar, pero para la línea de tratamiento de lodos, que es similar en ambas alternativas. Finalmente, la **Figura 20** contiene un esquema de la línea de generación del bioestimulante, que es exclusiva de la *Alternativa 2*. Es importante destacar que las unidades de tratamiento representadas en el esquema no están a escala, ya que el propósito principal es ilustrar las relaciones espaciales y funcionales entre los diferentes componentes del sistema. Debido a que es una vista lateral las unidades que están en paralelo no se muestran (por ejemplo, las dos lagunas anaeróbicas o los dos reactores *raceway*).

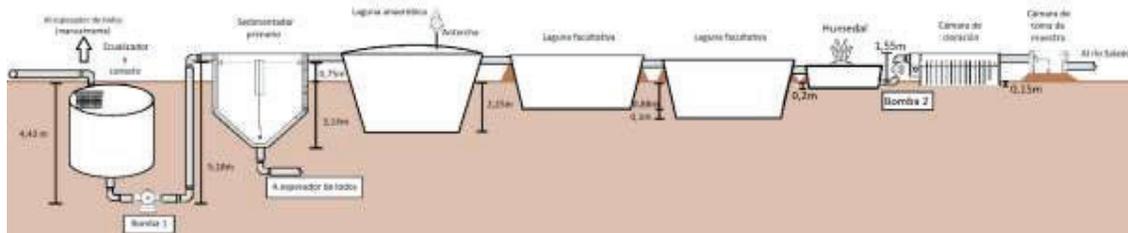


Figura 17: Esquema del sistema de tratamiento del efluente con la indicación de los tramos de cañería y las bombas requeridas en la *Alternativa 1*.

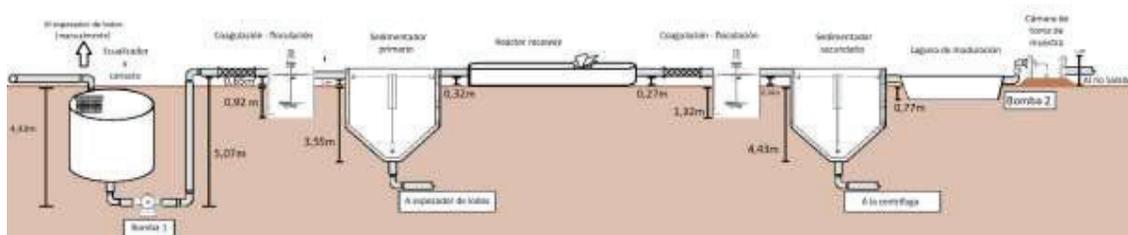


Figura 18: Esquema del sistema de tratamiento del efluente con la indicación de los tramos de cañería y las bombas requeridas en la *Alternativa 2*.

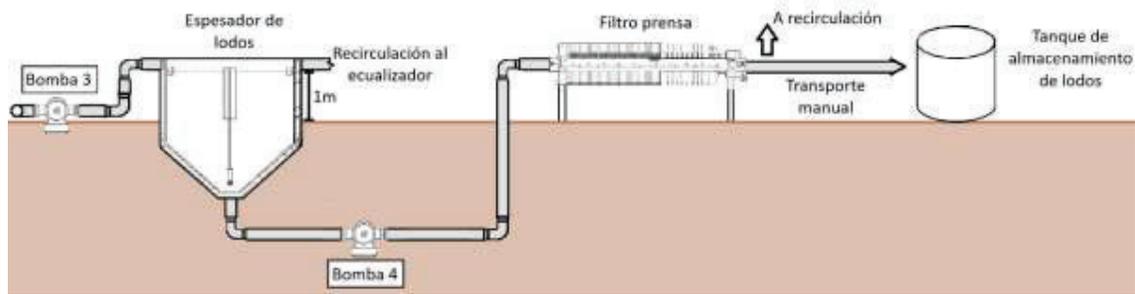


Figura 19: Esquema del sistema de tratamiento de lodos (válido para ambas alternativas).

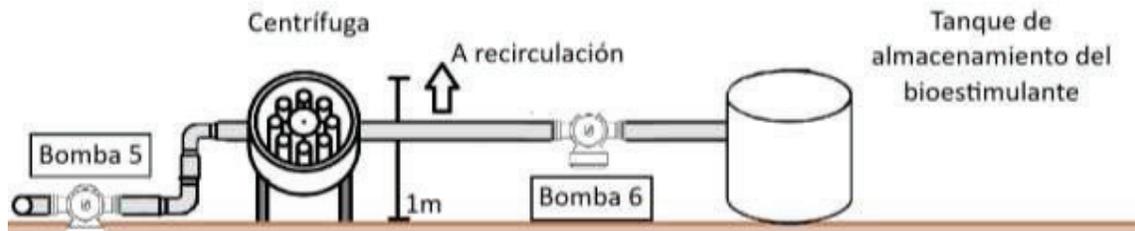


Figura 20: Esquema del sistema de tratamiento de biomasa y generación del bioestimulante algal (Alternativa 2).

Sistema de bombeo

Las bombas son dispositivos diseñados para aumentar la energía mecánica de los fluidos, lo que se traduce en un incremento de su velocidad, presión o elevación. Funcionan generando altas velocidades de rotación que permiten transformar la energía cinética del fluido en energía de presión, asegurando así un transporte eficiente.

Estas se instalan estratégicamente en las conducciones para proporcionar la energía necesaria que permita succionar el fluido desde un punto de menor altura o presión, y luego impulsarlo hacia el siguiente tramo del sistema. A la salida de la bomba, el fluido es descargado a una velocidad volumétrica constante, independientemente de la diferencia de altura o presión entre los puntos de entrada y salida.

Según lo expuesto en los esquemas de nivelación, se necesitan dos bombas para garantizar la correcta circulación del efluente a lo largo del sistema de tratamiento (Bombas 1 y 2). Además, se requieren dos bombas para el transporte de lodos desde el sedimentador primario hasta el final del tratamiento de lodos (Bombas 3 y 4). En la *Alternativa 2* se requieren dos bombas para garantizar la obtención del bioestimulante algal (Bombas 5 y 6). Las bombas dosificadoras no están detalladas en los esquemas, pero resulta necesario mencionarlas. En la *Alternativa 1* se requiere una bomba dosificadora para la cámara de cloración (BD1), mientras que en la *Alternativa 2* se necesitan 2 bombas dosificadoras para las dos etapas de coagulación-floculación (BD2.1 y BD2.2).

Para calcular la potencia que cada bomba debe entregar al sistema puede aplicarse la ecuación de Bernoulli entre los puntos inicial y final de cada tramo donde se instala una bomba. En primer lugar, se puede hallar la altura requerida, que se calcula según la Ecuación 66, donde H_{Bomba} es la altura que debe ser entregada por la bomba, ΔP , Δv y ΔH representan las diferencias de presión, velocidad y altura respectivamente, y $H_{fricción}$ es el valor de pérdida de carga por fricción correspondiente a cada tramo (ver **Tabla 33** y **Tabla 34**). Las diferencias de presión y de velocidad son despreciables debido a que las unidades están abiertas a la atmósfera y la velocidad es constante en cada tramo, por lo que los valores de diferencia de altura y de fricción son los únicos que aportan a la altura de la bomba.

Ecuación 66:

$$H_{Bomba} = \frac{\Delta P}{\rho g} + \frac{\Delta v}{2g} + \Delta H + H_{fricción}$$

A partir del valor de altura requerido para cada tramo, se puede calcular la potencia requerida por cada equipo según la Ecuación 67. P es la potencia requerida, Q es el caudal de cada tramo, g el valor de la aceleración de la gravedad y η es la eficiencia de la bomba. Se adopta una eficiencia de cada bomba del 50%.

Ecuación 67:

$$P = \frac{\rho * Q * g * H_{Bomba}}{\eta}$$

En la **Tabla 36** se exponen los resultados de la evaluación de las alturas y potencias requeridas para cada bomba a instalar. Allí se indica la marca y modelo que debe instalarse en cada tramo. Cada modelo fue seleccionado para que cumpla con los requerimientos del tramo donde se instala. Se seleccionó el modelo Turbo 100D de la marca HASA, dado que permite el transporte de efluentes entre 500 y 13500 litros por hora, entregando una altura de 1 a 9m, lo que cumple con los requerimientos para las bombas 1 y 2 para ambas alternativas. Los requerimientos para las bombas 3, 4, 5 y 6 son diferentes dado que en todos los casos el fluido transportado es viscoso (ya que transportan lodos o biomasa). Es por esto que se selecciona un modelo de bomba de desplazamiento positivo, para poder transportar fluidos con alta viscosidad y contenido de sólidos sin atascos. Se seleccionó el modelo Progressing Cavity Pump 008-3S del fabricante SYDEX Pump, dado que está diseñado para caudales reducidos y cumple con los requerimientos necesarios. Este modelo puede transportar caudales de hasta de 50 l/h.

Tabla 36: Parámetros asociados a los requerimientos para bombeo, selección de marca y modelo de cada bomba a instalar.

Parámetro	Bomba 1		Bomba 2		Bomba 3		Bomba 4		B. 5	B. 6
	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A2	A2
Alternativa	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A2	A2
Tramo	I.1C	II.1C	I.4A	II.4A	I.5A	II.6A	I.5B	II.6B	II.5A	II.5B
Diferencia de alturas [m]	6,21	6,09	1,89	1,59	4,97	5,46	2,64	2,75	6,52	1,20
Altura requerida por fricción [m]	0,65	0,85	0,67	0,06	0,00	0,02	0,01	0,02	0,04	0,02
Altura total requerida [m]	6,86	6,94	2,56	1,65	4,97	5,48	2,65	2,76	6,56	1,22
Caudal [m ³ /s]	9,86E-04	9,86E-04	9,86E-04	9,86E-04	5,30E-06	9,96E-06	1,78E-04	3,19E-04	2,04E-05	1,27E-05
Potencia [W]	132,25	133,89	49,37	31,80	0,52	1,07	9,20	17,26	2,62	0,30
Tramo	I.1C	II.1C	I.4A	II.4A	I.5A	II.6A	I.5B	II.6B	II.5A	II.5B
Marca de la bomba	HASA	HASA	HASA	HASA	Sydex	Sydex	Sydex	Sydex	Sydex	Sydex
Modelo de la bomba	Turbo 100D	Turbo 100D	Turbo 100D	Turbo 100D	008-3S	008-3S	008-3S	008-3S	008-3S	008-3S

Para las bombas dosificadoras de cloro (*Alternativa 1*) y de coagulante (*Alternativa 2*) se seleccionó el modelo Qdos20 de la empresa Watson Marlow Fluid Technology Solutions (WMFTS), dado que los caudales requeridos son particularmente pequeños. Estas bombas cubren caudales entre 0,1 y 333 ml/min. Los catálogos de las bombas seleccionadas se encuentran en la **Figura A 9**, **Figura A 10** y **Figura A 11** del Anexo II.

Las bombas utilizadas en el proyecto pueden sufrir desgaste con el tiempo debido a la abrasión de sólidos, la fatiga de materiales y las condiciones de operación. Por ello, es fundamental realizar un mantenimiento periódico para detectar signos de deterioro, prevenir fallos y garantizar un rendimiento óptimo. Además, es importante monitorear su eficiencia y evaluar la necesidad de reemplazo de componentes clave cuando sea necesario, asegurando así la continuidad y fiabilidad del sistema.

Capítulo V: Cómputo y presupuestos

El presupuesto económico incluye la descripción y el cálculo del costo de inversión inicial del proyecto, así como los gastos asociados a la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de efluentes. Su principal objetivo es analizar la viabilidad económica de las alternativas planteadas en este proyecto. Los costos, calculados en pesos argentinos, fueron convertidos a dólares oficiales utilizando el tipo de cambio minorista vendedor del Banco Central vigente en la fecha de elaboración del presupuesto.

Inversión inicial

La inversión inicial representa el capital requerido para la ejecución del proyecto, abarcando todas las actividades necesarias para la implementación y puesta en marcha de la planta de tratamiento de efluentes. Esto incluye la construcción civil, la instalación de equipos y unidades de proceso, los costos asociados a cañerías, accesorios e instalaciones eléctricas, así como los gastos relacionados con los honorarios de mano de obra calificada y no calificada.

Una correcta estimación de esta inversión es fundamental para garantizar la viabilidad técnica y financiera del proyecto. Esta permite anticipar los recursos necesarios, minimizar riesgos durante la etapa de ejecución y asegurar que el proyecto cumpla con los plazos y estándares de calidad previstos.

Alternativa 1

Los costos de inversión inicial asociados a la *Alternativa 1* están detallados en la **Tabla 37**. Este valor asciende a cuatrocientos ochenta y ocho mil ciento cincuenta y dos dólares (488.152 USD). Las cotizaciones se obtuvieron de diversas fuentes confiables, destacándose Aeration Argentina S.A. y Repicky S.A. Los honorarios y costos de mano de obra se calcularon de acuerdo con los valores estimados por la Unión Obrera de la Construcción de la República Argentina (UOCRA), mientras que los costos asociados a la realización de distintos trabajos fueron proporcionados por empresas como CAEDE Arg S.A.

En cuanto a los equipos y materiales, la mayoría de las bombas seleccionadas son de la marca HASA, reconocida por su calidad y eficiencia, mientras que las cañerías fueron presupuestadas por diversas empresas (Tubonor, Plastiflex) según la disponibilidad, priorizando la calidad en el suministro de este tipo de componentes.

Tabla 37: Detalle del presupuesto asociado a la inversión inicial requerida para el diseño de la Alternativa 1.

Descripción	Unidad	Costo unitario [USD]	Cantidad	Costo total		Incidencia [%]	
				USD	ARS		
Trabajos preliminares	Informe geotécnico del suelo	unidad	1.250,00	1,00	1.250,00	1.543.750	0,26%
	Subtotal				1.250,00	1.543.750	
Preparación del terreno	Limpieza y nivelación	m ²	10,00	6072,41	60.724,12	74.994.283	13,92%
	Remoción de cobertura vegetal	m ²	1,00	6072,41	6.072,41	7.499.428	
	Instalación de obradores, cartelería y cerco perimetral	gl	1.150,00	1,00	1.150,00	1.420.250	
	Subtotal				67.946,53	83.913.962	
Honorarios y mano de obra	Permisos de obra y seguros	gl	550,00	1,00	550,00	679.250	32,07%
	Dirección de obra	mes	4.000,00	6,00	24.000,00	29.640.000	
	Supervisión de obra	mes	3.200,00	6,00	19.200,00	23.712.000	
	20 obreros construcción	mes	14.400,00	6,00	86.400,00	106.704.000	
	6 obreros soldadores	mes	4.800,00	4,00	19.200,00	23.712.000	
	Servicios generales de obra y puesta en marcha	mes	1.200,00	6,00	7.200,00	8.892.000	
	Subtotal				156.550,00	193.339.250	
Excavación y movimiento de suelos	Excavación ecualizador	m ³	21,00	65,03	1.365,65	1.686.578	20,47%
	Excavación sedimentador primario	m ³	21,00	8,17	171,57	211.893	
	Excavación lagunas anaeróbicas	m ³	21,00	2774,09	58.255,84	71.945.966	
	Excavación lagunas facultativas	m ³	21,00	1762,11	37.004,41	45.700.451	
	Excavación humedal	m ³	21,00	148,14	3.110,94	3.842.008	
	Excavación cámara de cloración	m ³	21,00	0,35	7,33	9.052	
	Excavación espesador de lodos	m ³	21,00	1,07	22,43	27.697	
	Subtotal				99.938,17	123.423.645	
Plateas de fundación de hormigón armado	Platea de fundación ecualizador	m ³	50,00	3,61	180,64	223.092	1,70%
	Platea de fundación sedimentador primario	m ³	50,00	0,82	40,83	50.419	
	Platea de fundación cámara de cloración	m ³	50,00	161,02	8.051,08	9.943.085	
	Platea de fundación espesador de lodos	m ³	50,00	0,25	12,26	15.143	
	Platea de fundación cámara de toma de muestra	m ³	50,00	0,12	5,75	7.101	
	Subtotal				8.290,56	10.238.841	
Pretratamiento	Herrería canasto de retención de sólidos	Unidad	500,00	2,00	1.000,00	1.235.000	2,16%
	Hormigón ecualizador	m ³	134,75	23,84	3.212,34	3.967.242	
	Difusores CB-300 Repicky	Unidad	55,00	6,00	330,00	407.550	
	Soplador R200 Repicky	Unidad	3.000,00	2,00	6.000,00	7.410.000	
	Subtotal				10.542,34	13.019.792	
	Hormigón sedimentador primario	m ³	134,75	3,62	487,14	601.613	0,12%

Tratamiento primario	Sistema de ingreso al sedimentador primario	Unidad	40,00	1,00	40,00	49.400	
	Sistema de egreso del sedimentador primario	Unidad	40,00	1,00	40,00	49.400	
	Subtotal				567,14	700.413	
Tratamiento secundario	Geomembranas lagunas anaeróbicas	m ²	7,50	4966,59	37.249,46	46.003.083	18,74%
	Geomembranas lagunas facultativas	m ²	7,50	3232,58	24.244,36	29.941.784	
	Antorcha laguna anaeróbica	Unidad	15.000,00	2,00	30.000,00	37.050.000	
	Subtotal				91.493,82	112.994.867	
Tratamiento terciario	Geomembranas humedal	m ²	7,50	2970,75	22.280,65	27.516.603	5,08%
	Sistema de ingreso al humedal	Unidad	50,00	1,00	50,00	61.750	
	Sistema de egreso del humedal	Unidad	50,00	1,00	50,00	61.750	
	Hormigón cámara de cloración	m ³	134,75	1,78	240,07	296.489	
	Instalación cámara de toma de muestra	Unidad	2.200,00	1,00	2.200,00	2.717.000	
Subtotal				24.820,72	30.653.592		
Tratamiento de lodos	Hormigón espesador de lodos	m ³	134,75	1,35	181,83	224.563	1,51%
	Barredor para espesador de lodos	Unidad	1.900,00	1,00	1.900,00	2.346.500	
	Filtro prensa FPSA 47 (TORO)	Unidad	2.800,00	1,00	2.800,00	3.458.000	
	Vehículo de volteo de pilas	Unidad	2.500,00	1,00	2.500,00	3.087.500	
	Subtotal				7.381,83	9.116.563	
Sistema de conducción e impulsión	Bomba HASA Turbo 100D	Unidad	1.250,00	2,00	2500,00	3.087.500	2,96%
	Bomba WMFTS Qdos 20	Unidad	800,00	1,00	800,00	988.000	
	Bomba Sydex 008-3S	Unidad	2848,75	2,00	5.697,50	7.036.413	
	Cañería PVC 10mm	Unidad	1,50	38,00	57,00	70.395	
	Cañería Tubonor Hidro 3 Verde 007000050	Unidad	50,00	2,00	100,00	123.500	
	Cañería Plastiflex TS040200P	Unidad	35,00	4,00	140,00	172.900	
	Cañería Plastiflex TS050200P	Unidad	45,00	92,00	4.140,00	5.112.900	
	Cañería Plastiflex TS200250P	Unidad	50,00	2,00	100,00	123.500	
	Codo de 90° estándar	Unidad	15,00	28,00	420,00	518.700	
	Tubo Venturi	Unidad	85,00	1,00	85,00	104.975	
	Válvula anti retorno	Unidad	52,00	3,00	156,00	192.660	
	Tubo en T (conducto recto)	Unidad	25,00	6,00	150,00	185.250	
	Tubo en T (salida lateral)	Unidad	25,00	2,00	50,00	61.750	
	Válvula de compuerta	Unidad	75,00	1,00	75,00	92.625	
Subtotal				14.470,50	17.871.068		
Infraestructura	Luminaria de caminos	gl	1.500,00	1,00	1.500,00	1.852.500	1,00%
	Sala de operarios	gl	2.800,00	1,00	2.800,00	3.458.000	
	Provisión e instalación de tablero eléctrico	Unidad	300,00	2,00	600,00	741.000	
	Subtotal				4.900,00	6.051.500	
Total inversión inicial Alternativa 1					488.152	602.867.243	100,00%

Alternativa 2

Los costos de inversión inicial para la Alternativa 1 están detallados en la **Tabla 38** y ascienden a un total de treientos cuarenta y cuatro mil trescientos setenta y nueve dólares (344.379 USD). Las cotizaciones fueron obtenidas de diversas fuentes confiables, entre las cuales se destacan Aeration Argentina S.A. y Repicky S.A., que proporcionaron presupuestos para componentes clave. Los honorarios y costos de mano de obra se determinaron siguiendo los valores estipulados por la Unión Obrera de la Construcción de la República Argentina (UOCRA), mientras que los costos asociados a la ejecución de trabajos específicos fueron estimados con base en presupuestos suministrados por empresas como CAEDE Arg S.A.

Para el equipamiento de cosecha de biomasa se propuso como proveedor a la empresa US Filtermaxx, que destaca por su experiencia y confiabilidad en el rubro. Respecto a los equipos y materiales, se seleccionaron bombas de la marca HASA, reconocida por su eficiencia y confiabilidad en aplicaciones de tratamiento de efluentes. Las cañerías, por su parte, fueron presupuestadas considerando opciones ofrecidas por Tubonor y Plastiflex, priorizando tanto la calidad como la disponibilidad en el mercado para garantizar un suministro adecuado y cumplir con los estándares técnicos requeridos.

Tabla 38: Detalle del presupuesto asociado a la inversión inicial requerida para el diseño de la **Alternativa 2**.

	Descripción	Unidad	Costo unitario [USD]	Cantidad	Costo total		Incidencia [%]
					USD	ASR	
Trabajos preliminares	Informe geotécnico del suelo	unidad	1250,00	1,00	1.250,00	1.543.750	0,36%
	Subtotal				1.250,00	1.543.750	
Preparación del terreno	Limpieza y nivelación	m ²	10,00	4100,48	41.004,76	50.640.879	13,43%
	Remoción de cobertura vegetal	m ²	1,00	4100,48	4.100,48	5.064.088	
	Instalación de obradores, cartelería y cerco perimetral	gl	1150,00	1,00	1.150,00	1.420.250	
	Subtotal				46.255,24	57.125.217	
Honorarios y mano de obra	Permisos de obra y seguros	gl	550,00	1,00	550,00	679.250	45,46%
	Dirección de obra	mes	4000,00	6,00	24.000,00	29.640.000	
	Supervisión de obra	mes	3200,00	6,00	19.200,00	23.712.000	
	20 Obreros construcción	mes	14400,00	6,00	86.400,00	106.704.000	
	6 Obreros soldadores	mes	4800,00	4,00	19.200,00	23.712.000	
	Servicios generales de obra y puesta en marcha	mes	1200,00	6,00	7.200,00	8.892.000	
	Subtotal				156.550,00	193.339.250	
	Excavación eculizador	m ³	21,00	65,03	1.365,65	1.686.578	5,42%
	Excavación cámara de floculación	m ³	21,00	1,65	34,70	42.855	

Excavación y movimiento de suelos	Excavación sedimentador primario	m ³	21,00	9,84	206,55	255.092	
	Excavación cámara de floculación (2)	m ³	21,00	1,81	37,97	46.889	
	Excavación Laguna de maduración	m ³	21,00	808,33	16.974,88	20.963.983	
	Excavación espesador de lodos	m ³	21,00	1,99	41,73	51.536	
Subtotal					18.661,48	23.046.933	
Plateas de fundación de hormigón armado	Plataea de fundación eculizador	m ³	50,00	3,61	180,64	223.092	
	Plataea de fundación cámara de floculación	m ³	50,00	0,39	19,44	24.012	
	Plataea de fundación sedimentador primario	m ³	50,00	0,82	40,83	50.419	
	Plataea de fundación cámara de floculación (2)	m ³	50,00	0,39	19,44	24.012	
	Plataea de fundación sedimentador secundario	m ³	50,00	0,98	48,99	60.503	0,10%
	Plataea de fundación espesador de lodos	m ³	50,00	0,44	22,02	27.200	
	Plataea de fundación cámara de toma de muestra	m ³	50,00	0,12	5,75	7.101	
Subtotal					337,12	416.341	
Pretratamiento	Herrería canasto de retención de sólidos	Unidad	500,00	2,00	1.000,00	1.235.000	
	Hormigón eculizador	m ³	134,75	23,84	3.212,34	3.967.242	
	Difusores CB-300 Repicky	Unidad	55,00	6,00	330,00	407.550	
	Soplador R200 Repicky	Unidad	3000,00	2,00	6.000,00	7.410.000	3,06%
Subtotal					10.542,34	13.019.792	
Tratamiento primario	Coagulador estático Grec	Unidad	800,00	1,00	800,00	988.000	
	Mezclador de turbina vertical para floculación	Unidad	4700,00	1,00	4.700,00	5.804.500	
	Hormigón cámara de floculación	m ³	134,75	1,60	215,62	266.288	
	Hormigón sedimentador primario	m ³	134,75	3,62	487,14	601.613	1,82%
	Sistema de ingreso al sedimentador primario	Unidad	40,00	1,00	40,00	49.400	
	Sistema de egreso del sedimentador primario	Unidad	40,00	1,00	40,00	49.400	
Subtotal					6.282,75	7.759.202	
Tratamiento secundario	Grava para reactor raceway	m ³	2,40	45,46	109,11	134.757	
	Tabiques para separador central raceway	Unidad	1,00	400,00	400,00	494.000	
	Geomembrana para reactor raceway (base)	m ²	7,50	2480,64	18.604,81	22.976.943	
	Membrana polimérica para reactor raceway	m ²	10,00	3473,36	34.733,58	42.895.974	19,94%
	Instalación de paddlewheel	Unidad	500,00	1,00	500,00	617.500	
	Coagulador estático Grec	Unidad	800,00	1,00	800,00	988.000	
	Mezclador de turbina vertical para floculación	Unidad	4700,00	1,00	4.700,00	5.804.500	
	Hormigón cámara de floculación	m ³	134,75	1,60	215,62	266.288	

	Hormigón sedimentador secundario	m ³	134,75	4,76	641,20	791.887	
	Centrífuga US Filtermaxx High Speed Algae Centrifuge	Unidad	2795,00	1,00	2.795,00	3.451.825	
	Instalación del galpón de almacenamiento de biomasa	Unidad	1000,00	1,00	1.000,00	1.235.000	
	Espectrofotómetro y accesorios	Unidad	4169,13	1,00	4169,13	5.148.876	
	Subtotal				64.499,33	84.805.549	
Inspección del efluente	Instalación cámara de toma de muestra	Unidad	2200,00	1,00	2.200,00	2.717.000	0,64%
	Subtotal				2.200,00	2.717.000	
Tratamiento de lodos	Hormigón espesador de lodos	m ³	134,75	1,78	240,33	296.805	2,16%
	Barredor para espesador de lodos	Unidad	1900,00	1,00	1.900,00	2.346.500	
	Filtro prensa FPSA 47 (TORO)	Unidad	2800,00	1,00	2.800,00	3.458.000	
	Vehículo de volteo de pilas	Unidad	2500,00	1,00	2.500,00	3.087.500	
	Subtotal				7.440,33	9.188.805	
Sistema de conducción e impulsión	Bomba HASA Turbo 100D	Unidad	1250,00	2,00	2.500,00	3.087.500	6,18%
	Bomba WMFTS Qdos 20	Unidad	800,00	3,00	2.400,00	2.964.000	
	Bomba Sydex 008-3S	Unidad	2848,75	4,00	11.395,00	14.072.825	
	Cañería PVC 10mm	Unidad	1,50	57,00	85,50	105.593	
	Cañería Tubonor Hidro 3 Verde 007000050	Unidad	50,00	2,00	100,00	123.500	
	Cañería Plastiflex TS040200P	Unidad	35,00	2,00	70,00	86.450	
	Cañería Plastiflex TS050200P	Unidad	45,00	81,00	3.645,00	4.501.575	
	Cañería Plastiflex TS200250P	Unidad	50,00	2,00	100,00	123.500	
	Codo de 90° estándar	Unidad	15,00	32,00	480,00	592.800	
	Tubo Venturi	Unidad	85,00	1,00	85,00	104.975	
	Válvula anti retorno	Unidad	52,00	3,00	156,00	192.660	
	Tubo en T (conducto recto)	Unidad	25,00	2,00	50,00	61.750	
Válvula de compuerta	Unidad	75,00	3,00	225,00	277.875		
	Subtotal				21.291,50	26.295.003	
Infraestructura	Luminaria de caminos	gl	1500,00	1,00	1.500,00	1.852.500	1,42%
	Sala de operarios	gl	2800,00	1,00	2.800,00	3.458.000	
	Provisión e instalación de tablero eléctrico	Unidad	300,00	2,00	600,00	741.000	
	Subtotal				4.900,00	6.051.500	
Total inversión inicial Alternativa 2					344.379	425.308.340	100,00%

Costos de operación y mantenimiento

Los costos de operación y mantenimiento para cada una de las alternativas seleccionadas corresponden a aquellos necesarios para garantizar el adecuado funcionamiento de la planta de tratamiento de efluentes. Estos costos incluyen el consumo de energía eléctrica, los insumos químicos, la mano de obra, y el análisis del efluente. Para la *Alternativa 1* también se considera la tercerización de los lodos generados en las lagunas (que sucede cada 5 años) mientras que para la *Alternativa 2* se contempla la compra de insumos para el almacenamiento del bioestimulante.

El consumo eléctrico se desglosa en tres costos: fijo, variable por potencia y variable por energía. Esta información fue obtenida de los cuadros tarifarios correspondientes a enero de 2025 del Ente Nacional Regulador de la Electricidad (ENRE) para medianas demandas (Tarifa T2), proporcionados por la empresa prestadora “Edenor S.A.”. Los consumos eléctricos están condicionados por los requerimientos específicos de las unidades de tratamiento.

Los insumos químicos requeridos fueron calculados en la sección de la *Memoria de cálculo*. Para la *Alternativa 1* el único insumo químico requerido es el hipoclorito de sodio, que se utiliza en la cámara de cloración para la desinfección del efluente. En el caso de la *Alternativa 2* los insumos químicos requeridos están asociados a las etapas de coagulación – floculación e incluyen cal (para la coagulación previa al sedimentador primario), poliacrilamida (PAM) y cloruro férrico (estos últimos destinados a la coagulación previa a la sedimentación secundaria).

La mano de obra se considera idéntica para ambas alternativas analizadas. En cada caso las tareas diarias pueden variar, pero los profesionales requeridos y los turnos de trabajo establecido se consideran idénticos. Lo mismo sucede con el análisis del efluente, que es análogo en ambos casos considerados.

El transporte de lodos generados en las lagunas de la *Alternativa 1* se realiza cada 5 años, por lo que el gasto mensual asociado a esta actividad es un equivalente estimado para contemplar esta actividad en el presupuesto mensual.

En el caso de la *Alternativa 2* se incluye un apartado para cosecha de biomasa, que contempla la compra de los recipientes en los que se almacena el bioestimulante hasta ser comercializado o aplicado. Se incluye también un análisis de la venta de este producto como ingreso económico.

Alternativa 1

El consumo eléctrico asociado a la operación de esta alternativa se debe a la operación de los equipos detallados en la **Tabla 39**. Allí se observa, para cada equipo, la potencia instalada y el consumo eléctrico mensual que surge de su operación. También se observa el valor total de potencia instalada y de consumo de energía.

Tabla 39: Detalle de los equipos que consumen energía eléctrica en la **Alternativa 1**.

Equipo	Potencia instalada [kW]	Consumo eléctrico [kWh/mes]
Soplador para equalizador	1,04	701,57
Barredor de lodos	0,21	141,12
Filtro prensa	1,00	28,00
Bombas para circulación del efluente	0,19	128,57
Bombas dosificadoras	0,10	67,20
Total requerido	2,55	1066,46

Como se mencionó previamente, el único insumo químico que requiere esta alternativa es el hipoclorito de sodio. Según lo determinado en la sección de cálculo, se requieren 73,47 g/d de cloro, lo que resulta en una demanda mensual de 2,2 kilogramos.

El detalle completo de los costos asociados a la **Alternativa 1** se observa en la **Tabla 40**. Allí se describe para cada ítem el costo unitario y la cantidad de unidades requeridas mensualmente para la operación normal de la planta. El costo se presenta en dólares y en pesos argentinos, y corresponde a un total mensual de USD 6.785.

Tabla 40: Costos de operación y mantenimiento para la **Alternativa 1**.

Descripción	Unidad	Costo unitario [USD]	Cantidad por mes	Costo total		Incidencia [%]	
				USD	ARS		
Consumo energético	Costo fijo	Unidad	48,44	1,00	48,44	59.821	3,20%
	Costo variable por potencia	kW	10,72	2,55	27,29	33.706	
	Costo variable por energía	kWh	0,13	1.066,46	141,22	174.402	
	Subtotal				216,95	267.929	
Insumos químicos	Hipoclorito de sodio	kg	1,00	2,20	2,20	2.722	0,03%
	Subtotal				2,20	2.722	
Mano de obra	Operador de planta	Unidad	850,00	3,00	2.550,00	3.149.250	88,43%
	Supervisor de planta	Unidad	950,00	1,00	950,00	1.173.250	
	Lic. Seguridad e higiene	Unidad	1.000,00	1,00	1.000,00	1.235.000	
	Ing. Ambiental	Unidad	1.500,00	1,00	1.500,00	1.852.500	
	Subtotal				6.000,00	7.410.000	

Disposición de lodos de lagunas	Transporte de lodos	Viajes	350,00	0,18	63,97	79.002,11	5,98%
	Disposición de lodos	kg	0,50	684,17	342,08	422.473,62	
	Subtotal				406,05	501.475,73	
Laboratorio	Análisis del efluente	Unidad	40,00	4,00	160,00	197.600,00	2,36%
	Subtotal				160,00	197.600,00	
Total mensual de operación y mantenimiento Alternativa 1					6.785	8.379.727	100,00%

Alternativa 2

Esta alternativa presenta más unidades de tratamiento que requieren de energía eléctrica que la alternativa anterior. Es por esto que tanto la potencia instalada como el consumo eléctrico resultan mayores. Esto se observa en la **Tabla 41**, donde se detalla potencia y consumo para cada equipo necesario para esta alternativa.

Tabla 41: Detalle de los equipos que consumen energía eléctrica en la **Alternativa 2**.

Equipo	Potencia instalada [kW]	Consumo eléctrico [kWh/mes]
Soplador para equalizador	1,04	701,57
Mezclador vertical para floculación	1,37	920,37
Sistema de mezcla del reactor <i>raceway</i>	1,33	892,09
Mezclador vertical para floculación (2)	1,37	920,37
Centrífuga	1,49	41,75
Barredor de lodos	0,21	141,12
Filtro prensa	1,00	28,00
Bombas para circulación del efluente	0,18	117,90
Bombas dosificadoras	0,20	134,40
Total requerido	8,19	3897,56

Según lo detallado, los insumos químicos necesarios para esta alternativa son los coagulantes. Se requieren 41,75 kg/d de cal para la coagulación previa al sedimentador primario, 1,28 kg/d de PAM y 1,70 de cloruro férrico para la coagulación posterior al reactor biológico. Como resultado se requieren 1169 kg mensuales de cal, 38,34 kg mensuales de PAM y 51,12 kg mensuales de cloruro férrico.

La **Tabla 42** presenta el desglose completo de los costos asociados a la **Alternativa 2**, detallando el costo unitario y la cantidad de unidades necesarias mensualmente para el funcionamiento normal de la planta. Los costos están expresados tanto en dólares como en pesos argentinos, alcanzando un total mensual de USD 12.338.

Tabla 42: Costos de operación y mantenimiento para la Alternativa 2.

	Descripción	Unidad	Costo unitario [USD]	Cantidad por mes	Costo total		Incidencia [%]
					USD	ARS	
Consumo energético	Costo fijo	Unidad	48,44	1,00	48,44	59.821	5,29%
	Costo variable por potencia	kW	10,72	8,19	87,79	108.416	
	Costo variable por energía	kWh	0,13	3.897,56	516,10	637.384	
	Subtotal				652,32	805.621	
Insumos químicos	Cal	kg	0,21	1.168,94	245,48	303.166	2,46%
	Coagulante PAM	kg	0,50	38,34	19,17	23.675	
	Coagulante cloruro férrico	kg	0,75	51,12	38,34	47.350	
	Subtotal				302,99	374.190	
Mano de obra	Operador de planta	Unidad	850,00	3,00	2.550,00	3.149.250	48,63%
	Supervisor de planta	Unidad	950,00	1,00	950,00	1.173.250	
	Lic. Seguridad e higiene	Unidad	1.000,00	1,00	1.000,00	1.235.000	
	Ing. Ambiental	Unidad	1.500,00	1,00	1.500,00	1.852.500	
	Subtotal				6.000,00	7.410.000	
Laboratorio	Análisis del efluente	Unidad	40,00	4,00	160,00	197.600	1,30%
	Subtotal				160,00	197.600	
Almacenamiento del bioestimulante	Recipientes de 200l	Unidad	48,58	90,00	4.372,47	5.400.000	42,33%
	Recipientes de 70l	Unidad	28,34	30,00	850,20	1.050.000	
	Subtotal				5.222,67	6.450.000	
Total mensual de operación y mantenimiento Alternativa 2					12.338	15.237.412	100,00%

Esta alternativa tiene asociada la generación del bioestimulante algal, que es un producto que puede comercializarse. Es pertinente destacar el potencial de generación de ingresos económicos a partir de la comercialización de este producto. El precio de este producto puede resultar variable debido a la demanda y a las condiciones del mercado, por lo que se realiza una estimación en los dos casos que se consideran extremos (mínimo y máximo).

Se contempla que este producto tiene un valor entre 750\$ y 1500\$ por litro, lo que equivale aproximadamente al rango 600-1200 USD por cada metro cúbico generado. Según lo detallado en la sección de diseño se generan 0,67m³ de bioestimulante al día, lo que corresponde a 20m³ mensuales. Se considera que el 25% de lo generado será aplicado dentro del predio del tambo, por lo que se comercializan 15m³ de bioestimulante al mes. En la **Tabla 43** se observa los potenciales ingresos (considerando valor mínimo y máximo) de comercializar esta cantidad mensual de bioestimulante. Considerando el valor mínimo se pueden disminuir los gastos mensuales en un 74%. Si se comercializa a valores mayores de 822,53 USD/m³ puede incluso generar una ganancia económica neta mensual que puede alcanzar los USD 5.880 (restando los gastos).

Tabla 43: Ingresos por comercialización del bioestimulante algal generado en la **Alternativa 2**.

		Unidad	Precio por m ³	Cantidad mensual	Ingreso mensual	
					USD	ARG
Venta del bioestimulante	Límite inferior	m ³	607,29	15,00	9.109,31	11.250.000
	Límite superior	m ³	1.214,57	15,00	18.218,62	22.500.000

Análisis de factibilidad

El análisis de factibilidad tiene como propósito evaluar los beneficios económicos de construir una planta de tratamiento de efluentes en comparación con la opción de continuar enviando los efluentes líquidos a disposición final mediante servicios de tercerización, y hallar la alternativa más conveniente económicamente. Los valores monetarios utilizados para la opción de tratamiento tercerizado fueron proporcionados por una empresa reconocida en la región donde se implementará el proyecto.

El estudio considera tres alternativas: tercerización del tratamiento del efluente, la *Alternativa 1* basada en el sistema de lagunas de tratamiento, y la *Alternativa 2* compuesta por el sistema de microalgas. Los costos analizados incluyen la inversión inicial y los gastos operativos y de mantenimiento mensuales, proyectados a lo largo de un período de 30 años, considerando este horizonte como la vida útil típica de este tipo de proyectos. La **Tabla 44** presenta los costos totales en dólares y un indicador del costo por metro cúbico de efluente tratado. El costo de la tercerización del efluente se obtuvo mediante consultas a proveedores locales que ofrecen este servicio.

Los resultados del análisis, detallados en la tabla, indican que la alternativa más viable económicamente es la *Alternativa 2*, considerando que se comercializa el bioestimulante generado. Cabe destacar que el análisis se realizó considerando el precio mínimo para el bioestimulante, por lo que el costo a 30 años puede disminuir dependiendo del precio al que pueda ser fijado el producto.

Tabla 44: Análisis de factibilidad.

	Costo total a 30 años [USD]	Costo por metro cúbico tratado [USD/m ³]
Tercerización del efluente	51.432.982	55,13
Alternativa 1	2.930.825	3,14
Alternativa 2	4.781.085	5,12
Alternativa 2 con comercialización de bioestimulante a costo mínimo	1.501.733	1,61

Financiamiento

Teniendo en cuenta los costos de inversión inicial requeridos para la implementación del sistema en ambas alternativas, se contemplan distintas opciones de financiamiento que faciliten a los responsables del tambo afrontar estos gastos sin comprometer su equilibrio económico.

El proyecto de construcción de la planta de tratamiento de efluentes puede beneficiarse de fuentes de financiamiento internacionales como el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Corporación Andina de Fomento (CAF), ambas entidades reconocidas por su apoyo a iniciativas de sostenibilidad y desarrollo en América Latina. Estas opciones son especialmente valiosas para cubrir la inversión inicial necesaria para implementar infraestructura de tratamiento, promoviendo soluciones alineadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

El BID, a través de su división para el sector privado, BID Invest, ofrece líneas de crédito específicas para proyectos de infraestructura sostenible. Este financiamiento puede incluir préstamos de largo plazo, garantías y asistencia técnica para asegurar el éxito técnico, financiero y ambiental de la planta. Además, BID Invest prioriza proyectos con impacto medible en la reducción de la contaminación, la mejora en la gestión de recursos hídricos y el cumplimiento de normativas ambientales locales. La posibilidad de obtener cofinanciamiento con bancos comerciales o multilaterales también puede ser explorada, aumentando la capacidad financiera del proyecto.

Por su parte, la CAF ofrece programas de financiamiento orientados a proyectos de agua potable y saneamiento, con condiciones favorables para respaldar la modernización de infraestructuras ambientales en la región. Este organismo ha financiado en el pasado iniciativas en Argentina, como el Programa de Obras Básicas de Agua Potable, y podría constituir una fuente confiable para costear la instalación de la planta. Entre sus modalidades de apoyo se incluyen préstamos con tasas preferenciales y plazos amplios, adaptados a las características del proyecto.

Optar por cualquiera de estas instituciones no solo garantiza acceso a recursos económicos para la inversión inicial, sino también respaldo técnico y estratégico que puede resultar clave en la implementación y puesta en marcha de la planta de tratamiento

Selección de alternativa

A partir de lo analizado en los capítulos anteriores, se pudo desarrollar una lista de criterios que se consideran relevantes para seleccionar una de las dos alternativas desarrolladas. Los mismos se listan en la **Tabla 45**, donde se observa el valor que se le asigna a cada criterio según el valor que adopta. La selección de los criterios se realizó para considerar todos los aspectos relevantes del presente proyecto, incluyendo eficiencias de remoción, factibilidad económica y flexibilidad.

Tabla 45: Determinación de los criterios de selección de alternativas y los valores que toman.

Criterio	Alto	Regular	Bajo	Nulo	No	Si	Mayor valor
1 - Remoción de DBO [%]							1
2 - Remoción de nutrientes	3	2	1	0			
3 - Consumo de energía	0	1	2	3			
4 - Generación de lodos	0	1	2	3			
5 - Superficie requerida	0	1	2				
6 - Inversión inicial	0	1	2				
7 - Costo de operación y mantenimiento	0	1	2				
8 - Generación de un producto comercial					0	2	
9 - Dependencia de la temperatura	0	1	2	3			
10 - Emisiones de gases de efecto invernadero	0	1	2	3			

En la **Tabla 46** se observa la determinación final de la selección de alternativas, donde se asignó el valor correspondiente a cada criterio para cada alternativa. Como resultado, se observa que la *Alternativa 2*, que se compone de un sistema de tratamiento con reactores *raceway* para cultivo de microalgas resulta la más adecuada para el presente proyecto. Esto se debe a que cumple con los requerimientos legales optimizando el área disponible y los recursos económicos, a la vez que provee una solución sencilla y adaptable que permite la recuperación de un producto comercializable.

Tabla 46: Selección de la alternativa a desarrollar en función de los criterios definidos.

Criterio	Alternativa 1: Sistema de lagunas	Alternativa 2: Tratamiento con algas
1 - Remoción de DBO [%]	99,60	97,12
2 - Remoción de nutrientes	Alta	Alta
3 - Consumo de energía [kWh/mes]	1.066,46	3.897,56
4 - Generación de lodos [m ³ /mes]	14,45	26,53
5 - Superficie requerida [m ²]	5.280,36	3.565,63
6 - Inversión inicial [USD]	484.504,11	331.715,09
7 - Costo de operación y mantenimiento [USD/mes]	6785,20	3228,67
8 - Generación de un producto comercial	No	Si
9 - Dependencia de la temperatura	Regular	Regular
10 - Emisiones de gases de efecto invernadero	Regular	Bajo
Puntaje total	10	13

Capítulo VI: Estudio de impacto ambiental

Introducción

En este capítulo se presenta el Estudio de Impacto Ambiental (EsIA) correspondiente al proyecto de construcción, operación, mantenimiento y clausura de la planta destinada al tratamiento de efluentes líquidos generados por un tambo en la provincia de Buenos Aires.

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es un procedimiento obligatorio diseñado para identificar, predecir, evaluar y mitigar los posibles impactos ambientales de un proyecto en el corto, mediano y largo plazo. Este instrumento preventivo, regulado por la Ley N.º 25.675 (Ley General del Ambiente), se aplica antes de tomar decisiones sobre la viabilidad del proyecto. A través de un proceso técnico-administrativo, la autoridad ambiental competente evalúa la factibilidad del proyecto y emite una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) o un Certificado de Aptitud Ambiental (CAA), según corresponda. Los principales objetivos de la EIA son garantizar la viabilidad ambiental de las iniciativas, fomentar la transparencia y la participación pública en la planificación y toma de decisiones, y promover la prevención y gestión adecuada de los posibles impactos ambientales y sociales.

El Estudio de Impacto Ambiental (EsIA), que constituye el documento técnico central de la EIA, es elaborado por el proponente del proyecto. Este estudio incluye una descripción detallada del proyecto, su línea de base ambiental y social, el marco legal aplicable, un análisis de alternativas, y la identificación y evaluación de los potenciales impactos ambientales y sociales asociados en diferentes horizontes temporales. Además, establece las medidas de gestión ambiental necesarias para abordar estos impactos, las cuales se detallan en el Plan de Gestión Ambiental.

Objetivos y alcance

El objetivo de este Estudio de Impacto Ambiental es evaluar la influencia de la implementación de la Planta de Tratamiento de Efluentes Líquidos (PTEL) de un tambo ubicado en el partido de Roque Pérez sobre el medio ambiente natural y sociocultural. Este análisis abarca las etapas de construcción, operación, mantenimiento y cierre del proyecto, con el propósito de identificar y evaluar los posibles impactos emergentes y proponer medidas de mitigación, restauración o compensación. Estas acciones buscan garantizar que la ejecución del proyecto sea segura y esté alineada con los principios del desarrollo sustentable.

Este análisis tiene como objetivo determinar la viabilidad ambiental del proyecto en tres fases, evaluando aspectos específicos en cada una:

- **Fase de construcción:** se consideran las actividades necesarias para la instalación del proyecto, incluyendo el montaje de equipos y la adecuación de las áreas de operación y administración.
- **Fase de operación:** se analizan las acciones necesarias para garantizar el funcionamiento adecuado del proyecto.
- **Fase de cierre:** se proponen medidas para mitigar los posibles impactos ambientales que puedan surgir al finalizar las operaciones.

En cada etapa se identifican los impactos ambientales, tanto positivos como negativos, derivados de la instalación y operación del proyecto. Asimismo, se evalúan los riesgos potenciales asociados a las características del mismo.

El alcance geográfico de los impactos se determina mediante el área de influencia del proyecto. La misma se divide en dos unidades: el área de influencia directa y el área de influencia indirecta.

Como parte del EsIA, se diseña un Plan de Gestión Ambiental, que incluye estrategias para prevenir, mitigar y/o remediar los impactos identificados. También se desarrolla un Plan de Contingencias, que detalla las acciones a seguir ante posibles accidentes, minimizando así los riesgos de daños materiales y humanos.

Marco legal

La reforma de la Constitución Nacional en 1994 consagra el derecho de todos los ciudadanos a vivir en “un ambiente sano, equilibrado y apto para el desarrollo humano”, garantizando que las actividades productivas satisfagan las necesidades del presente sin comprometer las de las futuras generaciones. Este derecho, establecido en el Artículo 41, también impone el deber de preservarlo. En el marco de la organización federal, la Constitución otorga a las provincias la potestad de regular sus territorios, lo que ha dado lugar a una distribución de las normativas ambientales entre los niveles nacional y provincial.

El presente Estudio de Impacto Ambiental se desarrolla considerando normativas de alcance supranacional, nacional, provincial y municipal, las cuales se detallan a continuación por categoría.

Marco supranacional

- Ley 21.836/78: Convención de las Naciones Unidas sobre la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural.
- Ley 24.375/94: Convenio sobre Diversidad Biológica.
- Ley 23.918/99: Convención sobre Conservación de especies migratorias de animales silvestres.
- Ley 25.438/01: Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático y Protocolo de Kyoto.
- Ley 25.841/03: Acuerdo Marco sobre Medio Ambiente del MERCOSUR.

Marco nacional

- Constitución Nacional: Artículo 41, Artículo 34, Artículo 121 y Artículo 123.
- Ley 25.675: Ley General del Ambiente. Establece los presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del medio ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sostenible en Argentina.
- Ley 20.284: Ley sobre Contaminación Atmosférica. La finalidad es prevenir la contaminación atmosférica y establece normas que deberán aplicarse a todas las fuentes capaces de producir en la jurisdicción federal y en las provincias que adhieran a la misma.
- Ley 24.089: Ley de Calidad de Aire.
- Decreto 674/89: Parámetros de vertido de efluentes líquidos.
- Ley 25.688: Régimen de Gestión Ambiental de Aguas.
- Ley 22.428: Régimen para el fomento de la acción privada y pública de la conservación de los suelos.
- Ley 22.421: Conservación de la fauna.
- Ley 13.273: Régimen de defensa de la Riqueza Forestal.
- Ley 25.612: Gestión Integral de Residuos Industriales y de actividades de servicio.
- Ley 25.916: Gestión integral de residuos domiciliarios.
- Ley 19.587: Ley de Higiene y Seguridad del Trabajo.
- Ley 24.557: Ley de Riesgos de Trabajo.
- Resolución 607/12: Cámara de toma de muestras y medición de caudales.

Marco provincial

- Constitución Provincial: Artículo 28.

- Ley 11.723: Ley integral de Medio Ambiente.
- Ley 11.720: Generación, manipulación, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final de residuos especiales.
- Resolución 591/98: Uso obligatorio de los manifiestos de transporte de residuos peligrosos especiales y de residuos patogénicos.
- Ley 13.592: Gestión Integral de los residuos sólidos urbanos.
- Resolución 1.143/02: Disposición de Residuos Sólidos Urbanos y Rellenos Sanitarios.
- Ley 12.257: Código de aguas o régimen de protección, conservación y manejo del recurso hídrico.
- Decreto 3.395/96: Regula la emisión de efluentes gaseosos.
- Ley 8.912: Ordenamiento del uso del suelo.
- Resolución ADA 336/03: Parámetros para vuelco de efluentes.

Descripción del proyecto

El proyecto contempla la construcción, operación y posible cierre de una planta de tratamiento de efluentes líquidos (PTEL) generados por un tambo. Ambas instalaciones, la planta productiva y la planta de tratamiento, se ubicarán en un predio situado sobre la orilla del río Salado (Buenos Aires), en una zona rural del partido de Roque Pérez, provincia de Buenos Aires.

El tambo se dedica a la producción de leche cruda destinada a la elaboración de productos lácteos. La operación cuenta con 10 empleados, quienes se distribuyen en tareas relacionadas con el ordeño, alimentación del ganado, mantenimiento de las instalaciones, gestión de insumos y logística para la distribución de la producción. La actividad se centra en garantizar la calidad del producto mientras se mantienen prácticas sostenibles en el manejo del ganado y el entorno.

El efluente líquido a tratar resulta de la limpieza de los equipos de ordeño y corrales, incluyendo una fracción líquida con residuos de orina y leche, así como una fracción sólida compuesta por heces, restos de alimentos y tierra. El objetivo principal de la planta de tratamiento es reducir la carga contaminante del efluente para cumplir con los parámetros fisicoquímicos establecidos por la normativa vigente, antes de su descarga en el río Salado.

En las secciones siguientes se describen las etapas clave del proyecto: construcción, operación y eventual cierre.

Etapa de construcción

La fase de construcción de la planta tiene como objetivo el desarrollo de la obra civil para instalar las obras requeridas para la puesta en marcha de la planta. Se estima que tendrá una duración de entre 6 y 8 meses, generado alrededor de 30 puestos de trabajo directos (que implican al menos 30 puestos de trabajo indirectos).

Durante la ejecución de esta etapa se llevan a cabo una serie de acciones. Las mismas se listan y detallan a continuación.

- **Desmante y nivelación del terreno**
Se realiza con el fin de facilitar la obra civil de instalación de infraestructura y permitir el correcto funcionamiento de la planta de tratamiento.
- **Abastecimiento de materiales**
Constituye la compra los materiales requeridos para la ejecución de las obras.
- **Instalación de las unidades de tratamiento**
Corresponde a la instalación de las unidades destinadas al tratamiento. En algunos casos corresponde a la instalación de equipos fabricados mientras que en otros casos implica la fabricación de las unidades.
- **Instalación de unidades accesorias**
Excavación de zanjas, colocación e instalación de cañerías y accesorios destinados al transporte del efluente a través de la planta.
- **Instalación del sistema eléctrico**
Se instala el sistema eléctrico destinado al abastecimiento requerido por las unidades de tratamiento.
- **Limpieza del terreno**
Contempla el desalojo de los escombros y el desarmado de las estructuras transitorias y del obrador.
- **Verificación de las obras**
Previo a la etapa de operación se realiza la verificación de las obras instaladas para evitar errores en las etapas posteriores.

Generación de efluentes líquidos

La generación de efluentes líquidos está asociada principalmente a los efluentes cloacales generados por la instalación de los obradores. Estos efluentes serán derivados hacia la cámara séptica existente en el predio (donde actualmente se vuelcan los efluentes cloacales), junto con los provenientes de los sanitarios, vestuarios y comedor. Se prevé una mayor frecuencia de asistencia con camiones de vacío para el manejo adecuado de estos residuos.

Generación de emisiones gaseosas

Las principales emisiones gaseosas provienen de la combustión de los combustibles utilizados por equipos como grúas, auto elevadores y otros tipos de maquinaria pesada empleada en la construcción. Además, debido al movimiento de tierras, se prevé la dispersión de material particulado en el aire.

Generación de residuos sólidos

Los residuos generados durante esta etapa pueden clasificarse en residuos de construcción y residuos de obrador. Dentro de los residuos de construcción, se encuentran tanto los inertes como los peligrosos. Los residuos inertes (escombros) incluyen restos de materiales como hormigón, ladrillos, vidrio, tierra y piedras. En cuanto a los residuos peligrosos, estos incluyen baterías, pilas, combustibles, lubricantes, pinturas, solventes y cualquier material que contenga sustancias tóxicas o peligrosas para la salud humana y el ambiente. Por otro lado, los residuos de obrador son similares a los residuos sólidos domésticos, como restos de alimentos y envoltorios de comidas.

Riesgos

Los riesgos presentes durante la etapa de construcción están relacionados principalmente con la maquinaria utilizada, como equipos neumáticos, sierras, esmeriladoras, demolidores y taladros, entre otros. Estos equipos pueden generar niveles elevados de ruido, lo que representa un riesgo acústico tanto para los trabajadores como para el entorno circundante. Sin embargo, este riesgo puede reducirse significativamente mediante el uso adecuado de equipos de protección personal (EPP) por parte de los trabajadores.

Etapa de operación

La etapa operativa abarca la puesta en marcha, operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de efluentes, asegurando su correcto funcionamiento a lo largo del tiempo. Esta fase tiene una vida útil estimada de entre 25 y 30 años. Las actividades específicas que se llevarán a cabo durante esta etapa se detallan a continuación.

- Comienzo de operación de la planta
Contempla la puesta en marcha del sistema y los ajustes operativos requeridos para alcanzar el estado estacionario en la operación.
- Operación de las unidades de tratamiento
Contempla la operación de todas las unidades detalladas en capítulos anteriores del presente documento. Se contempla el tratamiento primario, secundario, terciario y de lodos diseñados para alcanzar los límites de vuelco determinados por la legislación vigente.
- Mantenimiento
Incluye la limpieza de las unidades de tratamiento y las operaciones de mantenimiento de cañerías y bombas para garantizar el correcto funcionamiento del sistema.
- Monitoreo y análisis
Incluye la toma de muestra y el análisis del efluente previo a su vertido en el curso de agua para garantizar el funcionamiento del sistema y el cumplimiento requerido.

Generación de efluentes líquidos

No se considera la generación de efluentes líquidos durante esta etapa.

Generación de emisiones gaseosas

Las emisiones gaseosas en la etapa operativa se relacionan principalmente con las emisiones difusas generadas por el contacto del efluente industrial con el exterior, lo que provoca la liberación de compuestos orgánicos volátiles (COV) en cada unidad de tratamiento. Existen emisiones indirectas causadas por el consumo de energía eléctrica proveniente de la red.

Generación de residuos sólidos

Los residuos generados en la planta se dividen en dos categorías principales: residuos generales y residuos derivados de las unidades de tratamiento. El primer grupo está compuesto principalmente por cualquier residuo generado en las instalaciones, asimilables a residuos domiciliarios. El segundo grupo incluye los lodos generados en las distintas unidades de tratamiento. Los lodos resultantes del proceso de compostaje pueden ser comercializados como acondicionadores de suelos, utilizados en actividades agrícolas y hortícolas.

Riesgos

Las emisiones sonoras durante la etapa operativa provienen principalmente de los sopladores y las bombas, que operan de manera continua en la planta. Estos equipos generan ruido que debe ser monitoreado para asegurar que los niveles se mantengan dentro de los límites establecidos por la normativa ambiental.

Etapa de cierre

La etapa de cierre es la fase final del proyecto y marca el cese de las operaciones de la planta de tratamiento. En esta etapa, se debe proceder con la retirada de toda la maquinaria e infraestructura utilizada en las instalaciones, lo que implica también el fin del proceso productivo. Además, se deben gestionar los cierres de los contratos laborales de los empleados de la planta y completar la documentación administrativa correspondiente para formalizar el cierre del proyecto, asegurando el cumplimiento de las normativas laborales y ambientales pertinentes. Las actividades que son parte de esta etapa se listan a continuación.

- Desmantelamiento de equipos e infraestructura
Se retiran los equipos instalados y se remueven la infraestructura requerida para la operación. Además, se remueve el sistema de cañerías y accesorios.
- Adecuación del espacio
Incluye la limpieza del terreno, y la recomposición de la cobertura vegetal.
- Monitoreo
Contempla análisis de la calidad del agua del río y cualquier parámetro ambiental que se considere necesario.

La generación de emisiones gaseosas, efluentes líquidos y residuos sólidos se considera asimilable a la detallada para la etapa de construcción del proyecto. Lo mismo aplica para el análisis de riesgos.

Área de influencia

El área de influencia del proyecto se divide en área de influencia directa (AID) y área de influencia indirecta (AI). La primera está compuesta por la totalidad del predio destinado a las operaciones del tambo (ver **Figura 5**). Esto contempla la zona donde los impactos ambientales del proyecto afectan directamente.

El área de influencia indirecta es el lugar donde los impactos del proyecto afectan de modo indirecto. Dado que el vuelco de los efluentes se realiza sobre el cauce principal del río

Salado, el área de influencia indirecta se define como una subcuenca del río Salado, desde el partido de Roque Pérez, lo que contempla la cuenca media y baja del río. La **Figura 21** presenta un esquema del Área de Influencia Indirecta determinada para el proyecto.

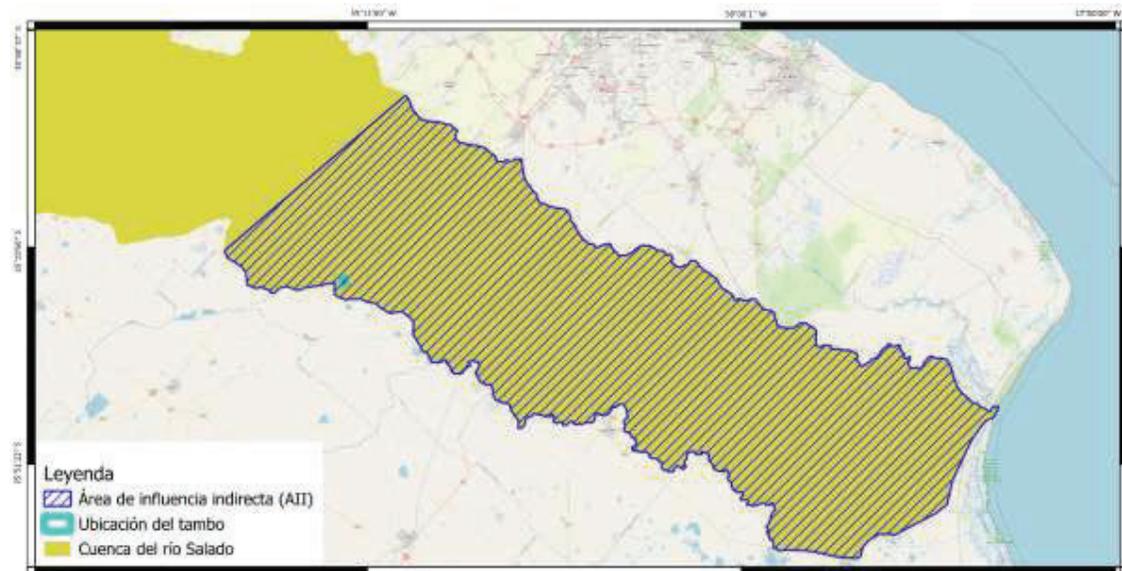


Figura 21: Área de influencia indirecta del proyecto de instalación de la planta de tratamiento.

Línea de base ambiental

Medio físico

Clima

El clima de la provincia de Buenos Aires es predominantemente templado húmedo, con variaciones regionales. Las temperaturas medias anuales oscilan entre los 14 y 16 °C, siendo más cálidas hacia el norte y más frescas hacia el sur. Las precipitaciones anuales varían de 600 mm en el sudoeste a más de 1.200 mm en el noreste, distribuyéndose principalmente en los meses de primavera y verano. Los vientos predominantes son el Pampero, fresco y seco del sur, y el Norte, cálido y húmedo, que influye en las lluvias. En invierno, pueden registrarse heladas.

En particular, en la zona cercana al proyecto existe una estación meteorológica, ubicada en la ciudad de Las Flores, en la que se recolecta información climática. A través de la página web del Servicio Meteorológico Nacional se pudo recuperar la información referida a temperatura media y precipitaciones, que se muestran en la **Figura 22**.

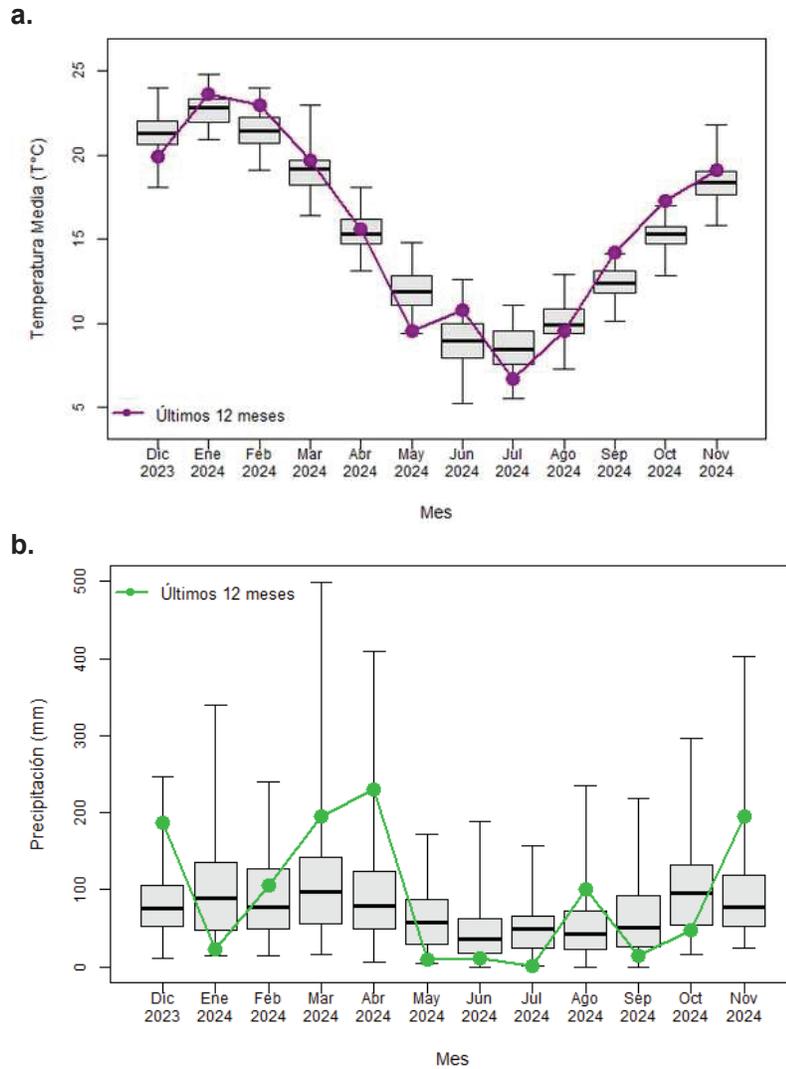


Figura 22: Información meteorológica de la estación Las Flores (AERO). Se presentan datos históricos (en blanco y negro) y datos de los últimos 12 meses (a color). Extraído de la web del Servicio Meteorológico Nacional (consultado en diciembre 2024).
 a. Temperatura media. b. Precipitaciones.

La **Figura 23** **Figura 22** presenta información histórica de las variables climáticas analizadas: temperatura y precipitaciones. En este caso se observan las precipitaciones promedio junto con los valores de temperatura máxima y mínima promedio para la serie de datos históricos considerada, que contempla entre los años 1991 y 2020. Las precipitaciones del mes de marzo resultan las más elevadas de la serie histórica. Las mayores temperaturas máximas se registran en el mes de enero y las menores mínimas en el mes de julio.

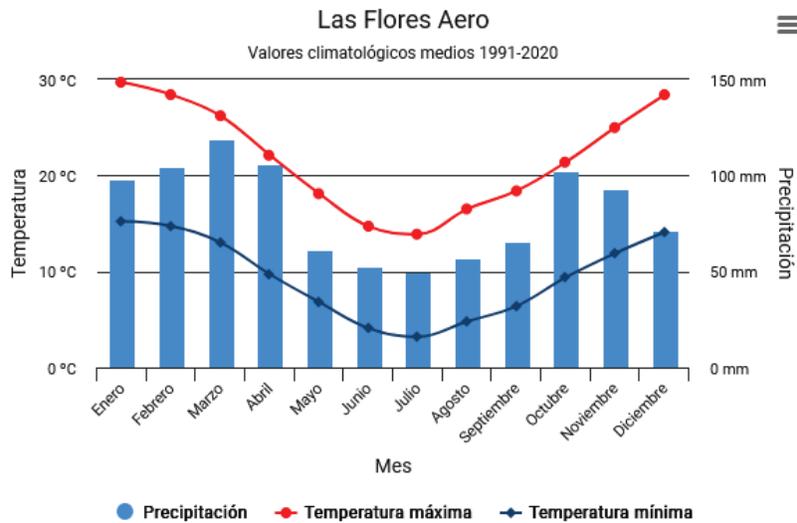


Figura 23: Información de la serie histórica 1991-2020 de precipitaciones promedio, temperatura máxima promedio y temperatura mínima promedio para la estación de Las Flores (AERO). Extraído de la web del SMN (consultado en diciembre 2024).

En la **Figura 24** se presenta información sobre las temperaturas extremas registradas para cada mes, en base al análisis de datos históricos de la serie 1961-2024. La temperatura extrema máxima registrada es de 41,8°C, registrada para el mes de enero, mientras que la temperatura extrema mínima corresponde al mes de julio y es de -9,3°C.

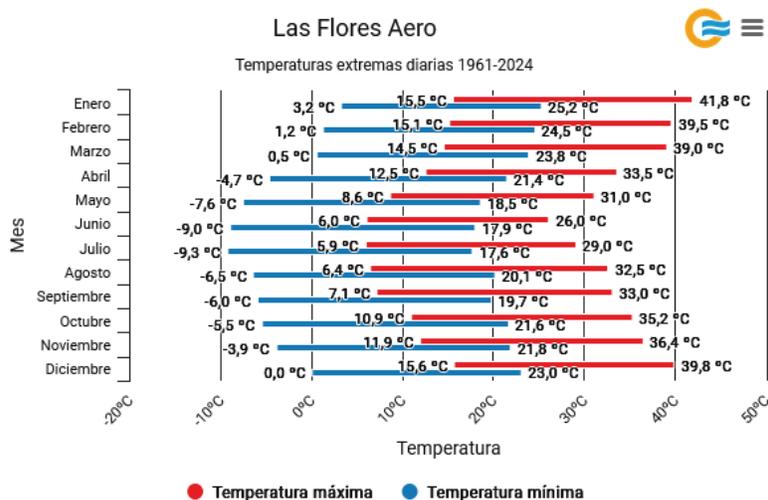


Figura 24: Información de la serie histórica 1961-2024 de temperaturas extremas para la estación de Las Flores (AERO). Extraído de la web del SMN (consultado en diciembre 2024).

La **Figura 25** presenta información sobre las precipitaciones extremas en la estación analizada. El máximo de precipitaciones mensuales está registrado para el mes de marzo, con 500mm en el mes, mientras que el máximo diario corresponde al mes de abril, con un valor de casi 200mm.

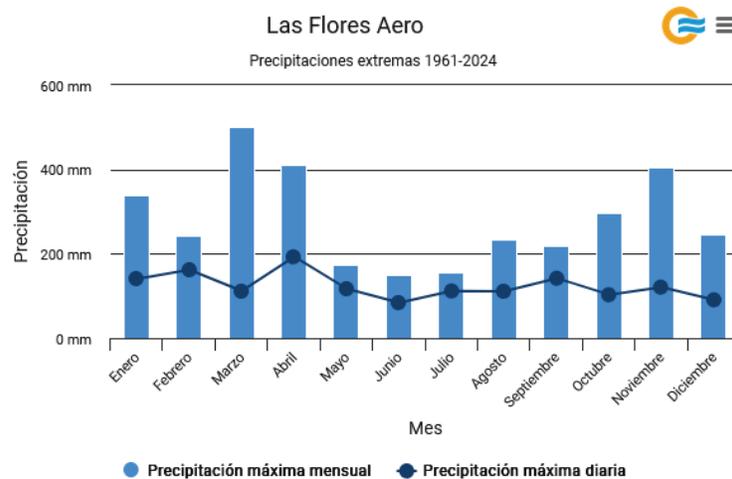


Figura 25: Información de la serie histórica 1961-2024 de precipitaciones extremas para la estación de Las Flores (AERO). Extraído de la web del SMN (consultado en diciembre 2024).

Geología

La Cuenca del Salado se ubica entre las sierras de Tandil y el umbral de Martín García, sobre un basamento metamórfico. Su formación comienza con una secuencia de depósitos conglomerádicos de finales del Jurásico y principios del Cretácico, marcando el inicio de una cuenca tafrogénica de origen extensional asociada al desarrollo del margen atlántico. Durante el Cretácico inferior, la sedimentación continúa con secuencias clásticas continentales, mientras que en su sector más externo se observa una intercalación marina correspondiente al Cretácico superior. Esta cuenca ha sido interpretada como aulacogénica, generada en el Mesozoico a partir de un punto triple vinculado a la apertura del océano Atlántico. En la **Figura 26** se observa una representación de la cuenca en análisis (Appella, 2023).

La principal etapa de relleno de la cuenca corresponde a la Formación General Belgrano, seguida por la Formación Las Chilcas. Los depósitos que marcan la etapa del inicio de la cuenca se agrupan en la Formación Río Salado. El relleno sedimentario comenzó entre el Jurásico superior y el Cretácico inferior con la acumulación de hasta 3.500 metros de conglomerados, areniscas y fangolitas pardo rojizas provenientes del basamento, representando la etapa de rift (el inicio de la cuenca).

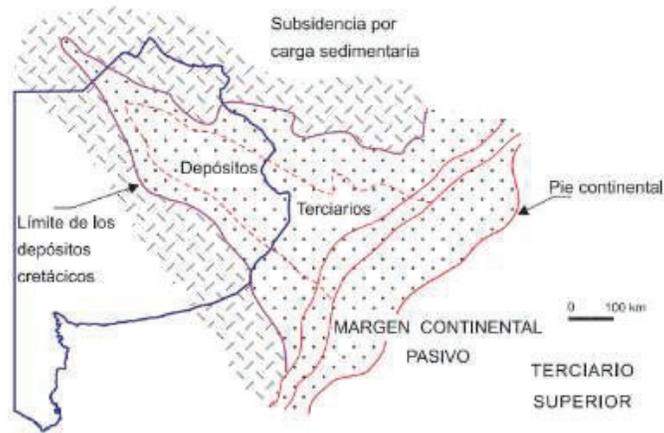


Figura 26: Cuenca del salado (Appella, 2023).

Posteriormente, durante la etapa de margen pasivo, se desarrollaron ciclos transgresivos y regresivos entre el Eoceno y el Pleistoceno. En este periodo se formaron depósitos terciarios continentales como las formaciones Los Cardos, Olivos y Puelches, además de los depósitos marinos de la Formación Paraná. Por encima de estos depósitos terciarios se encuentran los limos y loess de la Formación Pampeano y los sedimentos conocidos como “Postpampeanos”. En la **Figura 27** se observan las unidades estratigráficas y sus periodos correspondientes (Yrigoyen, 1975).

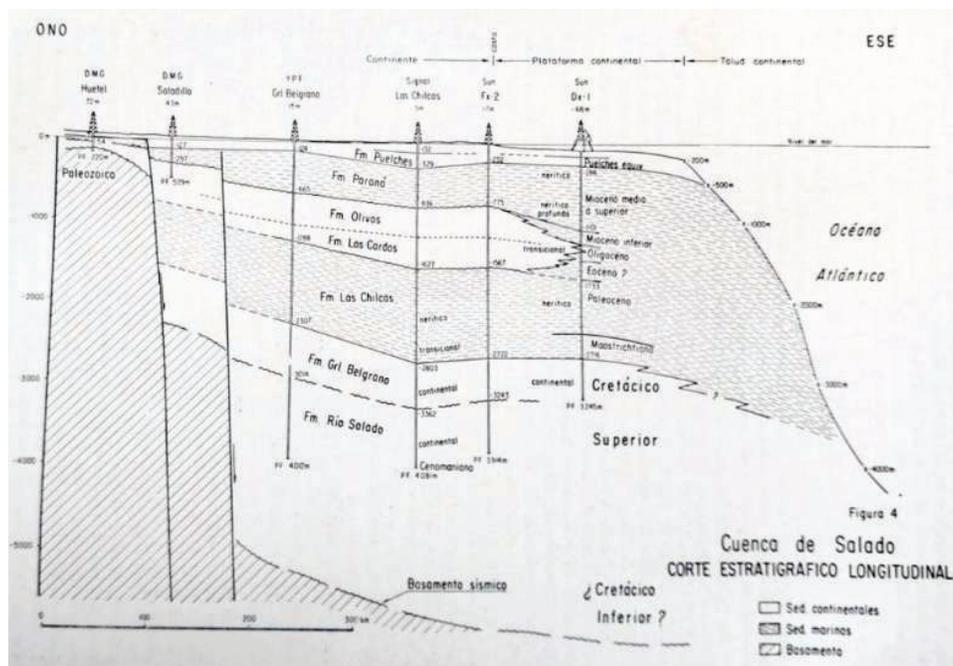


Figura 27: Unidades estratigráficas y sus periodos (Yrigoyen, 1975).

Geomorfología

La región de estudio se ubica en la llanura pampeana, caracterizada por su escasa pendiente y baja densidad de drenaje. En el sistema Salado-Vallimanca, las pendientes son del orden de 10^{-4} y la densidad de drenaje es de $0,05 \text{ km/km}^2$ (Sala et al., 1983). Según Kruse y Zimmermann (2002), las pendientes en la llanura varían entre valores inferiores al 1% y hasta 0,5%, lo que, junto con su escasa expresión morfológica y condiciones climáticas, determina un bajo potencial morfogenético.

Geomorfológicamente, se trata de un paisaje extremadamente horizontal, resultado de procesos morfoestructurales y paleoclimáticos ocurridos durante el Cuaternario medio y tardío. El río Salado atraviesa diversos ambientes, desde áreas dunares en la Pampa Arenosa hasta lagunas, paleolagunas y planicies de inundación, desembocando en un sector litoral asociado a la transgresión del Holoceno (Fucks et al., 2012). Su morfología actual no se ajusta al clima ni al régimen de escurrimiento presentes, sino que el paisaje moderno de la llanura pampeana es producto de la interacción de procesos geomorfológicos influenciados por marcadas variaciones climáticas, desde condiciones áridas a húmedas y de extremos térmicos, lo que ha dado lugar a formas características de su evolución (Appella, 2023).

Pereyra (2018) elaboró un mapa geomorfológico regional (1:1.000.000) de la provincia de Buenos Aires (**Figura 28**), identificando 11 unidades geomorfológicas principales según sus características morfoestructurales y los procesos geomorfológicos activos, tanto actuales como del Cuaternario. Entre las Regiones Geomorfológicas o Sistemas de Paisajes de primer orden, distinguió la Pampa Arenosa, la Pampa Deprimida, las Planicies litorales pampeanas y la Pampa Ondulada.

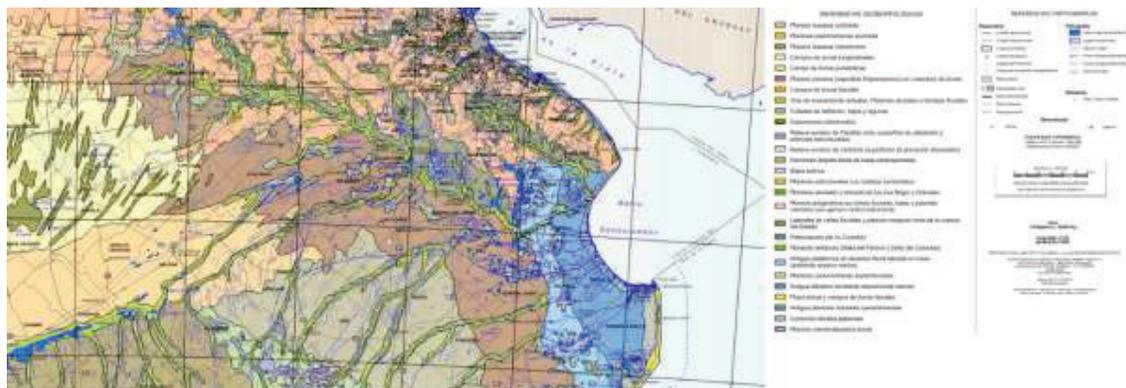


Figura 28: Recorte de mapa geomorfológico de la Provincia de Buenos Aires (Pereyra, 2018).

La Pampa Deprimida, también llamada área Pampásica deprimida o central, se ubica en el centro-este de la Provincia de Buenos Aires y está estrechamente relacionada con la

Cuenca del Salado. Es una depresión alargada con orientación NO-SE, limitada al norte por la Pampa Ondulada, al sur por Tandilia, al este por el ambiente litoral y al oeste por la Pampa Arenosa. Su relieve plano, de escasa pendiente, facilita la acumulación de agua y las inundaciones. Suelos de origen eólico y depósitos cuaternarios caracterizan la región.

En el sur de la región, el relieve se eleva gradualmente hacia Tandilia, con abanicos aluviales y depósitos de loess retransportado. Hacia el este, la Planicie Costera presenta extensas áreas inundables con lagunas, canales de mareas y cordones litorales formados por procesos marinos y eólicos.

La Pampa Ondulada se caracteriza por una topografía ondulada y una red de drenaje abundante que desemboca en los ríos Paraná, de La Plata, Samborombón y Salado. Su evolución geomorfológica estuvo influida por acumulaciones de loess, oscilaciones del nivel del mar y procesos de formación de suelos. La Pampa Arenosa, en el oeste, es una extensa área de origen eólico con dunas y depósitos de loess, formando parte del llamado Mar de Arena Pampeano. Durante el Pleistoceno, la acción del viento modeló extensos sistemas de dunas y acumulaciones sedimentarias.

Las lagunas y cubetas de deflación son rasgos geomorfológicos clave de la región. Se formaron por la acción combinada de procesos erosivos eólicos, fluvio-lacustres y coluviales, que alternaron con períodos húmedos, transformando las depresiones en ambientes lagunares permanentes. En la Provincia de Buenos Aires hay miles de lagunas y microcuencas, siendo una de las formas más representativas del paisaje de la Pampa Deprimida.

Hidrología

La cuenca del río Salado es la unidad hidrográfica más extensa de la provincia de Buenos Aires (**Figura 29**). Según el Atlas de Cuencas y Regiones Hídricas-Ambientales de la Provincia de Buenos Aires (Ministerio de Infraestructura y Servicios Públicos, 2020), su superficie alcanza los 167.110,84 km². El río Salado actúa como el colector principal de la cuenca y mantiene un régimen permanente. Su recorrido comienza al sur de la provincia de Santa Fe, fluye en dirección sureste y desemboca en la Bahía de Samborombón.

Este río puede dividirse en dos tramos según sus características geomorfológicas. El río Salado Superior se extiende desde Junín hasta Roque Pérez y se caracteriza por un valle fluvial con tributarios bien definidos en su margen izquierda. En contraste, el río Salado Inferior, que se extiende desde Roque Pérez hasta el mar, está conformado por depresiones interconectadas, sin la morfología típica de un sistema fluvial definido (Appella, 2023).

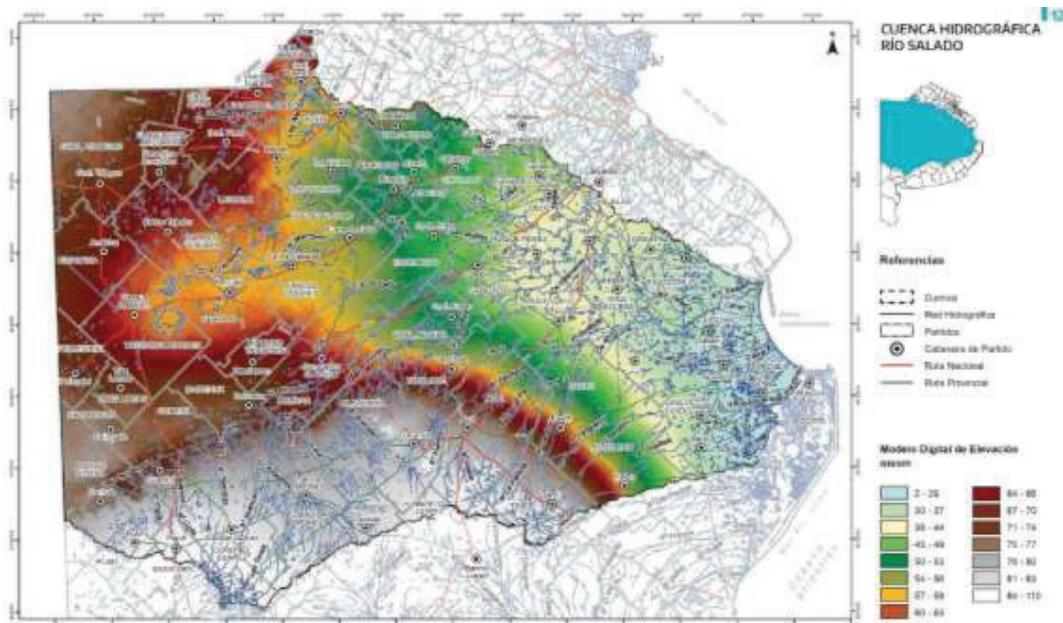


Figura 29: Cuenca hidrográfica del Río Salado, provincia de Buenos Aires (Ministerio de Infraestructura y Servicios Públicos, 2020).

La acción antrópica genera cambios en el régimen hídrico, impactando significativamente la dinámica del agua en la cuenca. Infraestructuras como rutas, caminos, vías férreas y canalizaciones modifican el movimiento del agua, alterando el drenaje natural.

En particular, la construcción de canales secundarios que desembocan en los tributarios del río Salado ha incrementado progresivamente la superficie que drena hacia este río. Como resultado, la cuenca ha sido profundamente transformada por diversas intervenciones estructurales, destacándose las canalizaciones y el dragado del río Salado.

Durante períodos de exceso hídrico, muchos sectores bajos se interconectan a través de vías temporales de conducción, generando un flujo de agua en manto. Este movimiento no siempre sigue la pendiente natural del terreno, ya que las estructuras antrópicas pueden modificar la línea energética del flujo (Appella, 2023).

En la llanura pampeana, las aguas subterráneas cumplen múltiples funciones, incluyendo su uso para consumo humano, riego, ganadería e industrias. Además, desempeñan un papel clave en las fluctuaciones ambientales, influyendo en eventos como inundaciones y sequías (Kruse y Zimmermann, 2002). La zona de estudio se encuentra principalmente dentro de la provincia hidrogeológica de la Llanura Chaco-Pampeana Húmeda, donde la precipitación excede la evapotranspiración, y la mayoría de los cuerpos de agua actúan como zonas de descarga del agua subterránea. Por otro lado, las áreas de recarga preferencial se localizan

en las partes más elevadas, donde el agua suele presentar mejor calidad, incrementando su contenido salino a medida que avanza en el flujo subterráneo (Auge, 2004).

Auge (2004) clasificó los ambientes hidrogeológicos de la provincia de Buenos Aires según su influencia en el agua subterránea, la geología y la geomorfología. La zona de estudio se encuentra en el ambiente Deprimido (**Figura 30**), caracterizado por una pendiente muy baja (0,01 a 0,001 %), lo que dificulta el drenaje superficial y favorece las inundaciones. Además, el agua subterránea suele tener alta salinidad debido a la limitada infiltración de excedentes hídricos, restringida por sedimentos finos de baja permeabilidad y la escasa profundidad del nivel freático, que frecuentemente aflora.



Figura 30: Ambientes hidrogeológicos de la provincia de Buenos Aires (Auge, 2004).

El espesor de las Arenas Puelches varía entre 30 y 80 m. Aunque el acuífero Puelche es uno de los más utilizados en el país, en el ambiente hidrogeológico Deprimido su uso es limitado debido al aumento de la salinidad. Sin embargo, en algunas áreas donde el contenido salino es bajo, puede aprovecharse para consumo humano y riego complementario. Los

sedimentos pampeanos albergan el Acuífero Pampeano, ampliamente utilizado en la Llanura Chaco-Pampeana para consumo humano, ganadero, industrial y riego. Este acuífero contiene la capa freática y puede presentar niveles semiconfinados en profundidad, con un incremento en la salinidad hacia las zonas de descarga regional, como el río Salado y la llanura inundable de la Bahía de Samborombón (Auge, 2004).

El Acuífero Pampeano, que conforma el sustrato del ambiente hidrogeológico Deprimido, abastece a muchas localidades de la región, como General Belgrano, Lobos, Monte, Las Flores, Junín y Chascomús. Los sedimentos de la Llanura Chaco-Pampeana contienen vidrio volcánico en el loess, que en condiciones de pH elevado puede liberar arsénico y flúor (Appella, 2023). Sala (1975) ya señalaba la presencia de niveles relativamente altos de estos elementos en las aguas subterráneas de la provincia, lo que explica la existencia de concentraciones elevadas de flúor y, en menor medida, arsénico en algunas zonas.

Medio biológico

La cuenca del río Salado se encuentra ubicada en la Ecorregión Pampa, que abarca una vasta planicie de 398.966 km² en el centro-este de Argentina, distribuyéndose en cinco provincias agrícolas (Matteucci et al., 2012). Comprende la mitad sur de Entre Ríos, el sudeste de Córdoba, el sur de Santa Fe, el noreste de La Pampa y casi toda la provincia de Buenos Aires, exceptuando su extremo sur. Debido a su extensión, esta ecorregión representa el ecosistema de praderas más importante del país. El partido de Roque Pérez se encuentra en la subregión de la Pampa Subhúmeda, en el complejo Pampa Arenosa.

Flora

En la región predominan los pastizales psamófilos, aunque en áreas bajas y alrededor de las lagunas se desarrollan pastizales halófilos y pajonales. La vegetación corresponde a una estepa gramínea o pseudoestepa, con una cobertura que varía entre el 60 y el 80 %. Debido a la fragmentación del paisaje, quedan pocos relictos de las comunidades originales, lo que dificulta su estudio. En estos relictos, las especies dominantes incluyen *Sorghastrum pellitum* y *Elionurus muticus*, acompañadas por hierbas perennes como *Glandularia hookeriana*, *Macrosiphonia petrae*, *Mitracarpus megapotamicus*, *Galium richardianum* y *Stevia satureiifolia*. En sitios con cierto grado de alteración, aparecen especies como *Aristida spagazzini*, *Bothriochloa springfieldii*, *Chloris retusa* (*Eustachys retusa*), *Eragrostis lugens*, *Poa ligularis*, *Poa lanuginosa* y *Schizachyrium condensatum*. En áreas altamente intervenidas predominan *Digitaria californica*, *Piptochaetium napostaense* y *Sporobolus chryptandrus* (Matteucci et al., 2012).

En las depresiones y lagunas se desarrollan pajonales, con comunidades dominadas por especies específicas según el tipo de ambiente. Los totorales están compuestos por *Typha domingensis* y *T. latifolia*, mientras que los juncales están dominados por *Schoenoplectus californicus* y los espadañales por *Zizaniopsis bonariensis*. En los humedales salobres se encuentran espartillares formados por *Spartina alterniflora* o *S. densiflora*. En suelos halomórficos predomina la estepa baja, caracterizada por una cobertura dispersa dominada por gramíneas como *Distichlis scoparia*, *Sporobolus pyramidatus*, *Paspalum vaginatum*, *Chloris berroi*, *Chloris canterai*, *Hordeum stenostachys* y *Diplachne uninervia*. Estas especies están acompañadas por herbáceas latifoliadas como *Spergularia spp.*, *Lepidium spp.*, *Grindelia discoidea*, *Malvella leprosa* y *Petunia parviflora*. En la **Figura 31** se presentan tres de las especies vegetales más comunes de la región.



Figura 31: Especies comunes de vegetación en la región de estudio. a. Pasto de vaca (*Sorghastrum pellitum*). b. Espartillo amargo (*Elionurus muticus*). c. Totorá (*Typha domingensis*)

Fauna

La fauna pampeana incluye especies de hábitos corredores, como las perdices (*Rynchotus rufescens*, *Nothura sp.*, *Eudromia elegans*) y el venado de las pampas (*Ozotoceros bezoarticus*), así como aquellas que utilizan refugios subterráneos, como la vizcacha (*Lagostomus maximus*). Los ambientes acuáticos destacan por su abundancia y diversidad de anátidos (patos y cisnes) y rállidos (gallaretas y pollas), así como por la presencia del coipo (*Myocastor coypus*). Además, los pastizales y humedales pampeanos son importantes áreas de concentración para aves migratorias tanto del hemisferio norte como de la Patagonia.

Sin embargo, el uso intensivo y prolongado de la región para actividades ganaderas, agrícolas y forestales ha provocado una significativa reducción del pastizal natural, afectando paisajes, ecosistemas y especies (Matteucci et al., 2012). Como resultado, al menos siete especies de aves y mamíferos carnívoros, incluidos el puma y el yaguararé, han sido extirpadas. Otras siete especies de aves, ungulados, roedores, carnívoros y reptiles se encuentran en peligro de extinción, mientras que aproximadamente diez especies de anuros,

carnívoros, armadillos, roedores, reptiles y quelonios están amenazadas o casi amenazadas. Además, alrededor de 16 especies se consideran vulnerables.

A pesar de estas pérdidas, la riqueza de aves ha aumentado debido a la introducción de especies provenientes de bosques xéricos nativos que han colonizado los bosques implantados en el pastizal pampeano. Otros grupos, como los insectos polinizadores, han experimentado cambios significativos, y su desaparición o la introducción de especies exóticas podrían desencadenar alteraciones adicionales en el ecosistema del pastizal natural (Medan et al., 2011).

En la Cuenca del Salado se han registrado un total de 283 especies de aves. Algunas de ellas, como el tachurí canela (*Polystictus pectoralis*), el burrito negruzco (*Porzana spiloptera*), el doradito copetón (*Pseudocolopteryx sclateri*), la ratona aperdizada (*Cistothorus platensis*), el cachilo canela (*Donacospiza albifrons*), el espartillero enano (*Spartonoica maluroides*) y el espartillero pampeano (*Asthenes hudsoni*), dependen de pastizales con baja intensidad de uso y han sido registradas recientemente en varios sitios de la cuenca (BirdLife International, 2024).

Por otro lado, especies de pastizal como el ñandú (*Rhea americana*), la cachirla trinadora (*Anthus chacoensis*), el chorlo dorado (*Pluvialis dominica*) y el batitú (*Bartramia longicauda*) muestran mayor tolerancia a ambientes intervenidos, como pasturas implantadas e incluso cultivos anuales de baja altura. Según datos del Censo Neotropical de Aves Acuáticas, tres especies se encuentran claramente en esta situación: el cuervillo de cañada (*Plegadis chihi*), la gallareta chica (*Fulica leucoptera*) y la gaviota capucho café (*Chroicocephalus maculipennis*). Para ellas, la cuenca representa un núcleo clave de distribución y alberga altas concentraciones de individuos, lo que sugiere que una proporción significativa de sus poblaciones utiliza esta área. Es probable que la región constituya uno de sus principales núcleos reproductivos. Otras especies acuáticas presentes en la cuenca incluyen el cisne cuello negro (*Cygnus melanocorypha*), el coscoroba (*Coscoroba coscoroba*) y el pato maicero (*Anas georgica*) (BirdLife International, 2024).

En cuanto a la ictiofauna, según en el río Salado se encuentran 46 especies de peces. Tres especies han colonizado la cuenca en las últimas décadas: la vieja negra (*Hypostomus commersoni*), la castañeta de siete colores (*Gymnogeophagus meridionalis*) y la exótica carpa común (*Cyprinus carpio*). Se ha observado que *H. commersoni* pudo haber desplazado a la vieja de agua (*Loricariichthys anus*), ya que esta última ha experimentado una marcada reducción en su abundancia (Gómez, 2015).

Los grupos más dominantes son los Characiformes y Siluriformes, con 18 y 14 especies, respectivamente. Además, cinco especies poseen respiración aérea, ya sea obligatoria o facultativa: *Callichthys sp.*, *Corydoras sp.*, *Hypostomus sp.*, *Gymnotus sp.* y *Symbranchus sp.*. También se registraron cuatro especies de Cyprinodontiformes, de las cuales dos son vivíparas y dos presentan huevos de resistencia. La notable diversidad de tipos ecológicos (según Menni, 2004) refleja la riqueza de hábitats presentes en la cuenca. Estas especies representan un subconjunto de los peces más eurióticos del sistema del Río de la Plata (Gómez, 2015). En la **Figura 32** se presentan imágenes de tres especies de fauna típicas de la región de estudio.

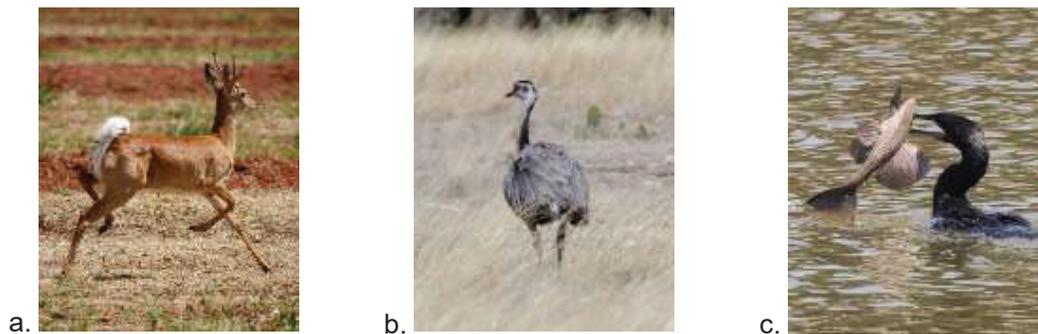


Figura 32: Especies comunes de fauna en la región de estudio. a. Venado de las pampas (*Ozotoceros bezoarticus*). b. Ñandú (*Rhea americana*). c. Biguá (*Phalacrocorax brasilianus*) y vieja negra (*Hypostomus commersoni*). Extraído de Argentinat.

Especies amenazadas

A escala global, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) elabora un listado de las especies y le asigna una categoría de conservación a cada una. En la provincia de Buenos Aires se encuentran dos especies en peligro crítico de extinción, pero no se hallan en la zona de estudio. De las cuatro especies categorizadas como *En peligro* en la provincia, sólo el pavito (*Titanolebias elongatus*) puede hallarse en la cuenca del salado. 11 especies están categorizadas como *Vulnerables*, de las cuales sólo una libélula (*Phyllogomphoides joaquina*) y una tarántula (*Grammostola vachoni*) pueden hallarse en la región. Finalmente, existen 12 especies en la provincia categorizadas como *Casi amenazadas*, de las cuales sólo 6 habitan la región de estudio, que incluyen dos especies vegetales (*Adesmia sanjuanensis* & *Hordeum erectifolium*), la mulita pampeana (*Dasytus hybridus*), el escuerzo común (*Ceratophrys ornata*), y dos especies de peces (*Andromakhe stenohalina* & *Austrolebias bellottii*).

A escala nacional, existen dos mamíferos que habitan la cuenca con categorías de amenaza, el tuco-tuco de los talares (*Ctenomys talarum*), que se encuentra categorizado como *Vulnerable* y el Venado de las pampas (*Ozotoceros bezoarticus*), que está categorizado como *En peligro* (SAREM, 2019). Existen siete especies de aves en la región con categorías de amenaza a nivel nacional, según la Categorización de las aves de la Argentina según su estado de conservación desarrollada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación y Aves Argentinas (2017). Estas incluyen especies en peligro crítico, como el playero rojizo (*Calidris canutus*), especies en peligro, como la monjita dominica (*Heteroxolmis dominicana*), y especies amenazadas como el cauquén común (*Chloephaga poliocephala*), el burrito negruzco (*Porzana spiloptera*), el playerito canela (*Tryngites subruficollis*), el loro barranquero (*Cyanoliseus patagonus*), y el espartillero pampeano (*Asthenes hudsoni*).

Áreas protegidas

La Cuenca del Salado alberga diversas áreas protegidas y de importancia para la conservación de la biodiversidad, especialmente en la Bahía de Samborombón y sus alrededores. El Refugio de Vida Silvestre - Reserva Natural Integral Bahía de Samborombón (Decreto Provincial 001193/82) y la Reserva Natural Bahía de Samborombón (Ley Provincial 12016/97) abarcan una extensa área costera en la desembocadura del río Salado, en la provincia de Buenos Aires. Estas reservas protegen humedales clave para la biodiversidad, funcionando como hábitat de aves acuáticas y otras especies de interés ecológico. Sus objetivos incluyen la preservación de ecosistemas naturales, la regulación de actividades humanas y la promoción de la investigación científica.

Además, la Bahía de Samborombón ha sido reconocida como Sitio Ramsar, dado su valor como humedal de importancia internacional. Esta designación resalta su rol en la protección de aves migratorias y su contribución a la mitigación del cambio climático, al ser una región clave para la regulación hídrica y la captura de carbono. Por otro lado, la AICA (Área de Importancia para la Conservación de las Aves) Cuenca del Río Salado destaca la relevancia de este sistema fluvial para la avifauna. Identificada por BirdLife International, esta área es esencial para especies amenazadas y migratorias, lo que subraya la necesidad de su gestión sostenible.

En conjunto, estas áreas protegidas refuerzan la importancia ecológica de la Cuenca del Salado y la Bahía de Samborombón, promoviendo la conservación de la biodiversidad y la conectividad de ecosistemas clave en la región pampeana.

Medio socioeconómico

Población

Según el Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas realizado por el INDEC en 2022, la provincia de Buenos Aires cuenta con 17.523.996 habitantes, mientras que el partido de Roque Pérez tiene una población de 13.977 habitantes, lo que equivale al 0,08% del total provincial. La variación intercensal de la población del partido es del 11,7% (1.464 personas), lo que resulta similar a la variación provincial, que es de 12,2%. Los períodos de los censos comparados son 2010 y 2022. Considerando que el partido cuenta con una superficie de 1.556 km², la densidad poblacional es de 9 habitantes por kilómetro cuadrado. El partido cuenta con un 51,32% de mujeres, considerando el sexo registrado al nacer (INDEC, 2022).

Casi todo el partido cuenta con menos del 20% de necesidades básicas insatisfechas. El único sector del partido que supera este valor es Carlos Beguerie, donde el porcentaje de NBI es de 22,2% (INDEC, 2022).

Educación

Según el censo del 2022 del INDEC, 4.505 personas del partido asisten a alguna institución educativa, 8.908 no asisten, pero asistieron, y 488 (es decir, el 3,5%) nunca asistió a ninguna institución escolar. Las instituciones consideradas incluyen jardín maternal, jardín de infantes, instituciones de educación primaria, secundaria, terciaria no universitaria, universitaria de grado y posgrado.

En la **Figura 33** se observa el nivel educativo de los jefes de hogar de cada sector del partido. Se observa que, para casi todo el partido, el porcentaje de jefes de hogar con secundario completo o superior incompleto es menor al 20%, excepto en algunos sectores, donde alcanza valores de más de 40%.

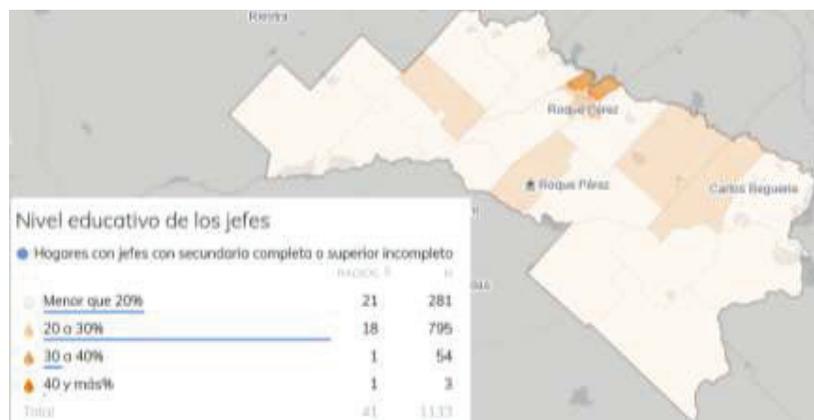


Figura 33: Nivel educativo de los jefes de hogar del partido de Roque Pérez (INDEC, 2022).

Salud

El 64% de los habitantes del partido cuentan con obra social o prepaga, mientras que un 2% cuenta con cobertura mediante programas o planes estatales de salud. El restante 34% no cuenta con obra social, prepaga o plan de salud (INDEC, 2022).

El partido cuenta con 9 establecimientos de salud con internación, 8 de los cuales se dedican a internaciones de bajo riesgo con internación simple, siendo el Sanatorio San Juan Bautista el único habilitado para alto riesgo, con terapia intensiva especializada (De Grande, 2018). Además, existen 19 centros de salud sin internación.

Vivienda

Según el último censo, en el partido existen 6.085 viviendas (INDEC, 2022). El 93% de los hogares posee piso de cerámica, mosaico, baldosa, alfombra, madera, flotante, vinílico, microcemento, cemento alisado o mármol. En el restante 7% el material del piso es carpeta, contrapiso, ladrillo fijo, tierra o ladrillo suelto u otros materiales. En el 94% de los casos el techo presenta revestimiento interior, independientemente del material utilizado.

El 98% de los habitantes tiene provisión del agua por cañería dentro de la vivienda, el 1,8% tiene provisión fuera de la vivienda, pero dentro del terreno, y el restante 0,2% fuera del terreno. El 59% de los habitantes tiene acceso a desagües de la red pública (cloacas), el 23,7% descarga sus desagües en cámara séptica y pozo ciego, el 16,7% únicamente a pozo ciego y el 0,29% posee un hoyo o excavación en la tierra como descarga. El restante 0,38% no posee métodos de desagüe.

Actividades productivas

Roque Pérez se destaca por su producción agropecuaria e industrial. Su economía se basa en la producción extensiva de granos y cereales, además de la cría y engorde de ganado bovino, aviar, porcino y ovino, incluyendo sistemas intensivos como feedlots. También cuenta con producción de huevos y un cordón hortícola especializado en verduras y hortalizas, sobresaliendo el zapallo dulce. Los excedentes se comercializan en el mercado central, y el municipio impulsa el sector con diversos programas de apoyo a la agricultura familiar, producción porcina y ovina, apicultura, agroecología y forestación. Además, se trabaja en la creación de un mercado de abasto regional.

El complejo agroindustrial del municipio transforma granos en alimentos balanceados para diversas especies y lidera en faena de carnes con tres frigoríficos de tránsito federal y provincial. Su producción abastece grandes mercados como Buenos Aires y el Conurbano, con potencial para la exportación.

En el ámbito industrial, Roque Pérez dispone de un Sector Industrial Planificado (SIP) que alberga empresas vinculadas al agro y otras industrias, como plantas de incubación de pollos, procesamiento de soja y fundición de aluminio. Esta última aplica principios de economía circular, recuperando residuos y fabricando productos para la industria automotriz y naval. También cuenta con industrias metalmeccánicas y de fabricación de envases de plomo para transporte de radioisótopos (Gobierno de la provincia de Buenos Aires).

Identificación y evaluación de impactos ambientales

Introducción y metodología

En esta sección se presenta la identificación y evaluación de los impactos ambientales mediante una metodología que permite analizar la interacción entre las actividades del proyecto y los componentes ambientales y sociales. Este análisis servirá como base para formular recomendaciones sobre medidas de gestión destinadas a minimizar, mitigar o remediar los impactos ambientales negativos identificados.

Para ello, se empleará la Matriz de Leopold, una herramienta que permite ponderar los componentes ambientales más susceptibles de ser afectados por el proyecto y los procesos con mayor potencial de impacto. La matriz está estructurada en filas que representan las actividades del proyecto y columnas que corresponden a los factores ambientales considerados. Las interacciones entre ambos se valoran mediante un índice de importancia (I) del impacto, calculado según la Ecuación 68.

Ecuación 68:

$$I = \pm(3i + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC)$$

El signo del impacto depende de si el mismo es beneficioso (signo positivo) o perjudicial (signo negativo). A continuación, se lista el significado de cada parámetro de la Ecuación 68.

- Intensidad (*i*): mide el grado de alteración del factor ambiental.
- Extensión (*EX*): indica la superficie afectada por el impacto identificado.
- Momento (*MO*): se refiere al tiempo transcurrido entre la acción y la manifestación del impacto sobre el medio considerado.
- Persistencia (*PE*): representa la duración del impacto en el entorno una vez que ha sido generado.

- Reversibilidad (*RV*): expresa la capacidad del medio para recuperar sus condiciones originales por medios naturales una vez que cesa el impacto.
- Sinergia (*SI*): identifica la intensificación de un impacto debido a la interacción entre dos o más efectos simples.
- Acumulación (*AC*): describe el fenómeno por el cual los efectos se incrementan progresivamente con el tiempo.
- Efecto (*EF*): diferencia entre impactos directos e indirectos. Es directo si la acción genera una alteración inmediata en el factor ambiental. Es indirecto cuando el impacto resulta de interdependencias dentro del sistema.
- Periodicidad (*PR*): evalúa la frecuencia con la que ocurre el impacto, clasificándolo como irregular, periódico o continuo.
- Recuperabilidad (*MC*): hace referencia a la posibilidad de restauración, total o parcial, del factor afectado mediante intervención humana.

Como se indicó previamente, cada aspecto recibirá un valor específico según sus características. La asignación de valores se presenta en la **Tabla 47**. El valor numérico de importancia permitirá clasificar el impacto como positivo, leve, medio o alto, de acuerdo con la **Tabla 48**. Una vez evaluados todos los impactos, se elabora la matriz de impacto ambiental, donde las intersecciones representan los impactos identificados, mientras que las casillas en blanco indican la ausencia de impacto para el aspecto analizado.

Tabla 47: Valores predeterminados para evaluar los impactos.

Aspecto	Clasificación	Valor
Intensidad	Baja	1
	Media	2
	Alta	3
	Muy alta	8
	Total	12
Extensión	Puntual	1
	Parcial	2
	Extenso	4
	Total	8
Sinergia	Crítica	12
	Sin sinergismo	1
	Sinérgico	2
	Muy sinérgico	4

Efecto	Indirecto	1
	Directo	4
Momento	Largo plazo	1
	Mediano plazo	2
	Inmediato	4
	Crítico	8
Persistencia	Fugaz	1
	Temporal	2
	Permanente	4
Recuperabilidad	Recuperable inmediatamente	1
	Recuperable a mediano plazo	2
	Mitigable	8
	Irrecuperable	10
Periodicidad	Irregular	1
	Periódico	2
	Continuo	4
Acumulación	Simple	1
	Acumulativo	4
Reversibilidad	Corto plazo	1
	Mediano plazo	2
	Irreversible	4

Tabla 48: Criterios para determinar el tipo de impacto.

Valores	Tipo	Color identificador
Positivos	Positivo	
> -51	Leve	
Entre -51 y -80	Medio	
< -80	Alto	

Identificación de acciones del proyecto

A partir de la descripción del proyecto detallada en secciones previas, se construye el listado de actividades que se consideran como potencialmente relevantes para el análisis de los efectos e impactos ambientales. Las actividades consideradas se observan en la **Tabla 49**.

Tabla 49: Acciones del proyecto consideradas.

Etapa	Acción
Construcción	Movimiento de suelos
	Excavaciones y nivelación
	Montaje del obrador
Operación	Instalación de la infraestructura
	Operación normal de la planta
	Mantenimiento
	Gestión de lodos
Cierre	Desmantelamiento de las instalaciones
	Desmantelamiento de la infraestructura
	Gestión de residuos de demolición

Identificación de factores del medio

Los factores ambientales que podrían verse afectados por las acciones previamente mencionadas, y que por lo tanto son objeto de análisis, se detallan a continuación.

- Medio Físico
 - Aire: Calidad y Ruido.
 - Agua: Superficial y Subterránea.
 - Suelo: Calidad y Compactación.
- Medio biológico
 - Flora
 - Fauna
- Medio socioeconómico
 - Generación de empleo
 - Calidad de vida y salud de la población
 - Infraestructura de servicios, vial y transporte

Matriz de impacto ambiental

En la **Tabla 50** se exhibe la matriz de impacto ambiental construida a partir de la valoración del impacto de cada actividad del proyecto sobre cada uno de los factores ambientales identificados.

Tabla 50: Matriz de valoración de impactos.

Factores ambientales	Acciones del proyecto		Etapa												Valor medio
			Construcción				Operación				Cierre				
			Movimiento de suelos	Excavaciones y nivelación	Montaje del obrador	Instalación de la infraestructura	Operación normal de la planta	Mantenimiento	Gestión de lodos	Desmantelamiento de las instalaciones	Desmantelamiento de la infraestructura	Gestión de residuos de demolición			
Medio físico	Aire	Calidad	-35	-34	-29	-34	-30	-34	-30	-30	-34	-32	-37	-29	-33
		Ruido	-31	-34	-31	-38	-28	-23	-35	-35	-37	-32	-37	-32	-32
	Agua	Superficial													
		Subterránea													
	Suelo	Calidad	-32	-40	-28	-35	-39								
		Compactación	-32	-32	-29	-38									
	Importancia media	-33	-35	-29	-36	-37	-31	-32	-32	-34	-36	-29	-33	-34	
Medio biológico	Flora		-34		-35										
			-31		-34	-34									
	Fauna														
	Importancia media	-33	-35		-35	-34									
Medio socio económico	Aspectos económicos	Generación de empleo	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
		Infraestructura de servicios, vial y transporte	-30	-33	-30	-36	-36								
	Aspectos sociales	Calidad de vida y salud	-33			-29	-26								
	Importancia media	-32	-33	-30	-33	-31	-29	-29	-30	-30	-30	-29	-31	-28	
	Valor medio por acción	-32	-34	-30	-34	-34	-31	-29	-29	-31	-33	-29	-32	-32	

Descripción de los impactos

Según lo expuesto en la matriz de valoración de impactos, la mayoría de los impactos del proyecto son negativos. Las únicas excepciones son los impactos vinculados a la generación de empleo, donde los impactos son positivos para todas las actividades consideradas. Cabe destacar que la magnitud de los impactos es **leve** para todos los casos contemplados, lo que indica que los mismos pueden ser reducidos, mitigados o remediados.

Etapa constructiva

Medio físico

Los impactos sobre el medio físico son leves y están relacionados con la emisión de material particulado debido a la manipulación de tierra y materiales de construcción. La magnitud de este impacto dependerá de las actividades realizadas, pero puede reducirse significativamente mediante la aplicación de medidas de mitigación adecuadas.

Otro aspecto a considerar es la generación de ruido por el uso de maquinaria en las distintas etapas de la construcción, lo que provocará contaminación sonora en el entorno de la obra.

El suelo y la geomorfología sufrirán un impacto significativo, especialmente debido a las obras que implican despeje y movimiento de suelo, así como la nivelación del terreno. Estas actividades provocarán una degradación del terreno y la pérdida del área natural, que será reemplazada por pavimento, alterando su drenaje y humedad original.

Medio biológico

El despeje del terreno para la construcción conlleva la eliminación casi total de la cobertura vegetal existente. Esto no solo altera la estructura ecológica del área, sino que también reduce la capacidad de retención hídrica del suelo y aumenta el riesgo de erosión. En algunos casos, puede ser viable la reubicación de ciertas especies o la implementación de corredores verdes para minimizar el impacto.

En relación con la fauna, la construcción de la planta de tratamiento generará alteraciones en los ecosistemas locales, ya que muchas especies silvestres dependen de la vegetación y el suelo natural para su hábitat. La pérdida de refugios y fuentes de alimento obligará a algunas especies a desplazarse, lo que podría generar desequilibrios en la biodiversidad local. Para mitigar este impacto, es recomendable establecer áreas de amortiguamiento, restringir las actividades más disruptivas en horarios específicos y promover medidas de compensación ambiental, como la plantación de especies nativas en áreas circundantes.

Medio socioeconómico

Desde el punto de vista socioeconómico, uno de los impactos positivos más relevantes es la generación de empleo durante la etapa de construcción. La demanda de mano de obra favorecerá la economía local al brindar oportunidades de trabajo a la comunidad. Además, se requerirá la contratación de servicios auxiliares, como transporte, alimentación y alojamiento para los trabajadores, lo que dinamizará sectores económicos relacionados.

Otro beneficio importante es la necesidad de insumos y materiales para la construcción, lo que generará un incremento en la actividad comercial y la contratación de proveedores locales. La compra de cemento, acero, tuberías, equipos especializados y el alquiler de maquinaria impulsarán la economía de la región y fortalecerán la cadena de valor del sector de la construcción.

Sin embargo, el aumento del tránsito vehicular en la zona de obra puede representar un impacto negativo. El traslado constante de camiones y maquinaria pesada podría generar congestión vial, mayor riesgo de accidentes y un deterioro de la infraestructura vial existente. Para mitigar este impacto, se pueden establecer rutas específicas para el tránsito de vehículos pesados, implementar medidas de seguridad vial y coordinar los horarios de transporte para minimizar las molestias a la comunidad.

Otro aspecto a considerar es la posible percepción negativa del proyecto por parte de la comunidad, especialmente si no se implementan estrategias de comunicación adecuadas. La socialización del proyecto, la consulta con los actores locales y la implementación de programas de responsabilidad social pueden contribuir a mejorar la aceptación de la obra y fortalecer la relación con la comunidad.

Etapa operativa

Medio físico

Durante la operación de la planta de tratamiento de efluentes, la calidad del aire puede verse afectada debido a la liberación de emisiones generadas en el proceso de tratamiento. Estas emisiones pueden provenir de la volatilización de compuestos orgánicos e inorgánicos presentes en los efluentes, especialmente cuando estos entran en contacto con el ambiente.

Asimismo, se deben considerar las emisiones indirectas asociadas al transporte, tanto por el abastecimiento de materia prima como por la disposición de residuos. La circulación frecuente de camiones y maquinaria pesada puede incrementar la concentración de material

particulado en suspensión y gases contaminantes como óxidos de nitrógeno (NO_x) y dióxido de carbono (CO_2), contribuyendo a la degradación de la calidad del aire local.

Por otro lado, la gestión de lodos generados en el proceso puede representar un impacto ambiental significativo. El proceso de compostaje de lodos puede causar la generación de contaminantes gaseosos como amoníaco (NH_3), sulfuro de hidrógeno (H_2S) y metano (CH_4), los cuales no solo afectan la calidad del aire, sino que pueden generar olores desagradables perceptibles en áreas circundantes.

En cuanto al agua, los efluentes líquidos generados en la planta son sometidos a un proceso de tratamiento antes de su disposición. Sin embargo, la posibilidad de accidentes operativos, fallos en el sistema o vertidos no controlados podría ocasionar la liberación de efluentes sin tratar, lo que implicaría un impacto negativo considerable en el curso de agua receptor. Para mitigar estos riesgos, es fundamental contar con sistemas de monitoreo continuo, planes de emergencia y medidas de contención para evitar la contaminación en caso de fallas operativas.

Medio biológico

Uno de los principales impactos de la operación de la planta sobre la fauna terrestre está asociado a la generación de residuos, ya que la presencia de desechos orgánicos puede atraer especies oportunistas, como roedores, aves carroñeras e insectos, alterando las dinámicas ecológicas y favoreciendo la propagación de enfermedades.

Además, la fauna silvestre puede modificar sus hábitos alimenticios si comienza a consumir estos residuos, lo que podría generar desequilibrios en la cadena trófica local y afectar la biodiversidad del área. Para evitar este impacto, es clave implementar una gestión adecuada de los residuos, asegurando su almacenamiento y disposición de manera segura.

En el caso de los cuerpos de agua cercanos, la flora y fauna acuática pueden verse afectadas si los efluentes tratados no cumplen con los estándares de calidad requeridos. El aporte excesivo de materia orgánica, nutrientes y otros contaminantes presentes en los efluentes industriales y cloacales puede provocar fenómenos como la eutrofización, reduciendo la disponibilidad de oxígeno y afectando a organismos acuáticos sensibles.

La gestión de los lodos también presenta impactos sobre la fauna y la flora, dado que afecta de modo indirecto el hábitat de las mismas. La liberación de sustancias (y olores) puede implicar cambios en el comportamiento de algunas especies nativas de fauna, impactando a su vez en la flora.

Medio socioeconómico

Desde el punto de vista socioeconómico, la operación de la planta de tratamiento genera un impacto positivo significativo al fomentar la creación de empleo tanto para mano de obra calificada como no calificada. Esto contribuye al desarrollo económico local al generar oportunidades laborales estables y especializadas en el sector ambiental.

Sin embargo, también existen impactos negativos asociados a la gestión de residuos y efluentes. La acumulación inadecuada de residuos en las instalaciones podría favorecer la proliferación de vectores de enfermedades, como mosquitos y roedores, representando un riesgo sanitario para los trabajadores de la planta y la población cercana. Por ello, es crucial implementar estrategias de manejo y disposición segura de residuos, incluyendo su recolección frecuente y almacenamiento en condiciones controladas.

Otro riesgo importante para la salud pública está vinculado a la posible contaminación de fuentes de agua potable en caso de fallos en el sistema de tratamiento. Si los efluentes sin tratar llegaran a infiltrarse en cuerpos de agua utilizados para consumo humano, podrían generar enfermedades de origen hídrico. Para prevenir esta situación, se deben establecer protocolos de seguridad estrictos, planes de contingencia y un monitoreo constante de la calidad del agua.

Por último, el incremento del tránsito vehicular en las inmediaciones de la planta, derivado del transporte de insumos, productos y residuos, puede generar impactos negativos en la infraestructura vial y en la movilidad local. El desgaste de caminos, la congestión vehicular y el aumento del riesgo de accidentes son factores a considerar. Para mitigar estos efectos, se recomienda planificar rutas de circulación específicas, establecer horarios de transporte que reduzcan la interferencia con la comunidad y aplicar medidas de señalización vial adecuadas.

Etapa de cierre

Medio físico

Durante la etapa de cierre, la calidad del aire puede verse afectada por la emisión de material particulado y gases generados por la maquinaria utilizada en el desmantelamiento y traslado de residuos de demolición. Además, la contaminación sonora se incrementará debido al uso de equipos pesados y vehículos de transporte. El movimiento de maquinaria y la remoción de materiales también impactarán el suelo, ya que el tránsito constante y la descarga de escombros pueden alterar su estructura y compactación, afectando temporalmente su capacidad de drenaje y estabilidad.

Medio biológico

Las actividades de cierre pueden generar impactos negativos en la flora y fauna autóctonas, principalmente por el ruido intenso de la maquinaria y la dispersión de polvo y emisiones atmosféricas. Estos factores pueden alterar el comportamiento de la fauna silvestre y afectar la vegetación cercana, reduciendo temporalmente la calidad del hábitat.

Medio socioeconómico

Al igual que en la etapa de construcción, el cierre de la planta generará empleo debido a la necesidad de mano de obra para las tareas de desmantelamiento y demolición. Sin embargo, también se prevé un impacto negativo en la circulación vial, ya que el aumento del tránsito de camiones y maquinaria pesada puede generar congestión y deterioro en las rutas de acceso.

Análisis de riesgos

Se llevó a cabo un análisis de riesgos con el objetivo de identificar posibles amenazas, así como los daños y consecuencias asociadas. Para ello, el riesgo fue evaluado en función de dos parámetros: el grado de probabilidad (C), con valores entre 0 y 1, y la magnitud del daño (M), con valores entre 1 y 5.

El nivel de riesgo se obtiene mediante el producto de estas dos variables, determinando así su aceptabilidad de acuerdo con la siguiente clasificación:

- **Aceptable** (0 - 1,6 puntos, color verde): El riesgo no es significativo, por lo que no requiere medidas inmediatas ni una inversión de recursos específicos para su gestión.
- **Tolerable** (1,7 - 3,3 puntos, color amarillo): Si bien se deben implementar acciones para su control, estas no tienen una prioridad urgente.
- **Inaceptable** (3,4 - 5 puntos, color rojo): El riesgo es elevado y demanda medidas inmediatas y prioritarias para su mitigación, debido al impacto que podría generar en el sistema.

Los riesgos considerados en este proyecto se detallan a continuación y fueron identificados a partir del análisis de las actividades involucradas en cada etapa del proceso:

- **Incendio o explosión:** Posible riesgo derivado del uso de maquinaria a combustión.

- **Derrames:** La manipulación de combustibles, aceites, grasas o solventes en maquinarias y vehículos puede generar derrames con potencial impacto ambiental y operativo.
- **Caída de cargas:** El traslado de grandes volúmenes de materias primas e insumos conlleva el riesgo de caída, lo que puede comprometer la seguridad del personal y la integridad de los materiales.
- **Accidentes laborales:** La intervención de operarios en distintos procesos implica una posibilidad inherente de error humano, especialmente en tareas manuales.
- **Parada de emergencia:** Puede ser necesario detener alguna unidad de manera imprevista para realizar reparaciones urgentes en caso de fallas operativas.

En la **Tabla 51** se presenta la matriz de riesgo, donde se identifican los **derrames** y los **accidentes laborales** como los riesgos que requieren mayor atención, dado que se clasifican dentro de la categoría de riesgos tolerables.

Tabla 51: Análisis de riesgos.

Incidente	Riesgo		
	Probabilidad (C)	Magnitud (M)	C x M
Incendio y explosión	0,4	4	1,6
Derrame	0,6	3	1,8
Caída de cargas	0,4	2	0,8
Accidente laboral	0,6	3	1,8
Parada de emergencia	0,4	2	0,8

Plan de gestión ambiental

El Plan de Gestión Ambiental (PGA) es un conjunto detallado de acciones diseñadas a partir de una evaluación ambiental, cuyo objetivo es prevenir, mitigar o compensar los impactos y efectos ambientales generados por la ejecución de un proyecto, obra o actividad.

Para reducir los efectos negativos identificados, se han definido una serie de medidas que se clasifican en cuatro categorías:

- **Preventivas:** Acciones orientadas a evitar o minimizar la generación de impactos negativos desde el inicio del proyecto.

- **Correctivas:** Medidas destinadas a reparar los efectos adversos generados por impactos negativos ya ocurridos.
- **Mitigadoras:** Estrategias dirigidas a recuperar los recursos naturales que hayan sido afectados.
- **Compensatorias:** Acciones enfocadas en equilibrar los efectos de los impactos negativos mediante medidas que contrarresten sus consecuencias.

En función de los impactos ambientales previstos durante la construcción y operación de la planta de tratamiento de efluentes, se ha diseñado un plan con distintas estrategias para minimizar y remediar los efectos ocasionados en cada etapa del proyecto.

Medidas para gestionar impactos ambientales

Tabla 52: Medida N°1 para gestionar impactos ambientales asociados al proyecto.

Medida N°1	Control de ruidos y vibraciones
Etapa	Construcción
Clasificación	Preventiva
Impactos a evitar	Impacto en la calidad del agua Impacto en la calidad del aire Impacto en la calidad del suelo Impacto en la salud de la población cercana
Acción propuesta	Reducción de la generación de ruidos y vibraciones en maquinarias y vehículos mediante el control de motores, la regulación de la velocidad de desplazamiento y el mantenimiento de los sistemas de silenciadores. Inspección de los equipos móviles y fijos antes del inicio de las actividades para garantizar el cumplimiento de la normativa nacional sobre niveles de ruido. Planificación de las tareas que generen altos niveles de ruido para minimizar su propagación en la mayor medida posible.
Monitoreo de cumplimiento	Registro de estudio de mediciones de ruido.

Tabla 53: Medida N°2 para gestionar impactos ambientales asociados al proyecto.

Medida N°2		Control de movimientos de suelo
Etapa	Construcción	
Clasificación	Preventiva	
Impactos a evitar	Impacto en la calidad del suelo Impacto en la calidad del agua superficial Impacto sobre la flora y la fauna	
Acción propuesta	Supervisión de las excavaciones, remociones de suelo y alteraciones de la cobertura vegetal para garantizar que sean estrictamente necesarias para el cumplimiento del proyecto, minimizando su impacto. Reducción de la remoción de cobertura vegetal, evitando la extracción innecesaria de ejemplares y preservando la vegetación siempre que sea posible.	
Monitoreo de cumplimiento	Porcentaje de área intervenida en relación con el área total planificada (%), determinado mediante registros de obra y verificación en campo.	

Tabla 54: Medida N°3 para gestionar impactos ambientales asociados al proyecto.

Medida N°3		Control de la gestión de los residuos sólidos
Etapa	Construcción, operación y cierre	
Clasificación	Preventiva	
Impactos a evitar	Impacto en la calidad del suelo Impacto en la calidad del agua Impacto en la calidad del aire Impacto sobre la flora y la fauna	
Acción propuesta	Identificación de las corrientes de residuos generadas en cada etapa del proyecto mediante un relevamiento detallado. Implementación de la infraestructura y equipamiento adecuados para el almacenamiento, transporte y disposición final segura de los residuos, garantizando el cumplimiento de la normativa aplicable según cada tipo de residuo.	
Monitoreo de cumplimiento	Porcentaje de área intervenida en relación con el área total planificada (%), determinado mediante registros de obra y verificación en campo.	

Tabla 55: Medida N°4 para gestionar impactos ambientales asociados al proyecto.

Medida N°4	Capacitación del personal en Seguridad, Higiene y Ambiente
Etapa	Construcción, operación y cierre
Clasificación	Preventiva
Impactos a evitar	Impacto en la calidad del agua, aire y suelo Impacto en la flora y fauna Impacto en la calidad de vida de la población Daño a la salud de operarios
Acción propuesta	Formación del personal en todas las etapas del proyecto sobre seguridad, higiene y medio ambiente. Como requisito base, toda persona que participe en el proyecto deberá completar una capacitación integral. Las capacitaciones deben incluir información sobre riesgos de seguridad y ambientales asociados a cada tarea, el uso adecuado de los Elementos de Protección Personal, la gestión de residuos y planes de emergencia y evacuación. Capacitaciones específicas, según las funciones de cada trabajador, las cuales se dictarán antes de las tareas que lo requieran.
Monitoreo de cumplimiento	Registro de asistencia de los operarios a las capacitaciones en cada instancia.

Tabla 56: Medida N°5 para gestionar impactos ambientales asociados al proyecto.

Medida N°5	Control de las emisiones gaseosas
Etapa	Operación
Clasificación	Preventiva
Impactos a evitar	Impacto en la calidad de vida de la población Impacto en la vegetación Impacto sobre cuerpos o cursos de agua cercanos Daño a la salud de operarios
Acción propuesta	Detección de emisiones gaseosas (puntuales y difusas) generadas por la planta de tratamiento de efluentes, para la instalación de un sistema de control, filtración o monitoreo adecuado y mantenimiento continuo de estos sistemas. Monitoreo de la calidad del aire en ubicaciones clave alrededor de la planta.
Monitoreo de cumplimiento	Registro y control de las mediciones efectuadas y de los mantenimientos realizados a las unidades, mediante una planilla de seguimiento.

Tabla 57: Medida N°6 para gestionar impactos ambientales asociados al proyecto.

Medida N°6		Control de consumos
Etapa		Operación
Clasificación		Preventiva
Impactos a evitar		Impacto en la calidad del aire Impacto en la calidad del agua
Acción propuesta		Monitoreo del consumo de agua en la planta productiva mediante la instalación de caudalímetros. Seguimiento del consumo de energía eléctrica en la planta de tratamiento. Control del caudal y las características del efluente vertido a la salida de la planta de tratamiento. Todos estos controles se implementarán con el objetivo de analizar e identificar oportunidades de optimización y ahorro de recursos.
Monitoreo de cumplimiento		Registros mensuales de consumo de recursos.

Tabla 58: Medida N°7 para gestionar impactos ambientales asociados al proyecto.

Medida N°7		Control de consumos
Etapa		Cierre
Clasificación		Mitigación y compensatoria
Impactos a evitar		Impacto en la calidad del suelo Impacto en la compactación del suelo Impacto en la fauna y flora
Acción propuesta		Relevamiento de las especies presentes luego de realizadas las acciones de desmantelamiento. Potencial siembra de especies nativas de la región para favorecer la biodiversidad.
Monitoreo de cumplimiento		Seguimiento de las especies plantadas en el sitio y cobertura vegetal.

Plan de contingencias

El plan de contingencias se establece con el objetivo de prevenir, mitigar y remediar las emergencias derivadas de los riesgos identificados en la sección de *Análisis de Riesgos*. A continuación, se detalla el Plan de Contingencias propuesto.

- **Incendios y explosiones**

Como medida preventiva, se reducirá al máximo la realización de trabajos que generen chispas, con el fin de evitar la aparición de incendios. En todas las áreas de la planta se

instalarán extintores manuales, los cuales deben estar claramente señalizados con cartelería visible desde una distancia considerable y no deben quedar bloqueados. Asimismo, se capacitará al personal en procedimientos de evacuación ante emergencias por incendio

- ***Derrames***

Se identificarán las zonas más propensas a derrames y se equiparán con kits antiderrame para contener cualquier accidente ambiental. Los recipientes que contengan líquidos deberán estar ubicados sobre pallets antiderrame con una capacidad al menos un 10% superior al volumen del líquido que contienen, lo que permitirá una respuesta rápida y eficaz en caso de derrames.

- ***Caída de cargas***

Para prevenir caídas de cargas, se emplearán vehículos como camiones, grúas, montacargas y zorras, adecuados para el tipo de materiales a transportar. Además, se brindará capacitación en seguridad al personal para asegurar que estén preparados para realizar el manejo seguro de cargas y descargas de materiales. En caso de caída de una carga, el incidente deberá ser reportado inmediatamente, y se tomarán las medidas recomendadas en la inducción para proteger la salud del personal, utilizando equipos de protección personal para minimizar riesgos.

- ***Accidentes laborales***

Todo el personal involucrado en el proyecto deberá recibir capacitación sobre los riesgos laborales y ambientales antes de su incorporación. Además, se les proveerá de los equipos de protección personal adecuados, conforme a las tareas que realicen, y los permisos de trabajo correspondientes. En caso de accidente, se suspenderá de inmediato la operación y se brindará asistencia médica a la persona afectada. Posteriormente, se llevará a cabo una investigación detallada del accidente para reconstruir el suceso y desarrollar un plan de acción con el objetivo de reducir la probabilidad de que el incidente se repita en el futuro.

- ***Parada de emergencia***

Cuando una unidad de tratamiento de efluentes sufra una parada de emergencia, lo que podría comprometer la correcta gestión del efluente, se procederá con medidas de contingencia previamente definidas. Los efluentes deberán redirigirse hacia tanques de almacenamiento. Se seleccionará una empresa para que se encargue del tratamiento de los efluentes de modo tercerizado hasta que las unidades afectadas sean reparadas y la planta recupere su funcionamiento normal.

Viabilidad ambiental del proyecto

El Estudio de Impacto Ambiental realizado ha permitido concluir que el proyecto de construcción, operación y cierre de la planta de tratamiento de efluentes para un tambo es ambientalmente viable. Durante el proceso, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de los posibles impactos ambientales y los riesgos asociados a cada una de las etapas del proyecto. Con base en esta evaluación, se elaboraron un Plan de Gestión Ambiental y un Plan de Contingencias, los cuales establecen medidas específicas para prevenir, mitigar y controlar los efectos negativos en el entorno. Además, estos planes contemplan acciones correctivas en caso de que se materialicen emergencias, garantizando así una operación segura y sostenible tanto para el medio ambiente como para la comunidad circundante.

Capítulo VII: Planos

A continuación, se presenta el listado de los planos de las unidades operativas correspondientes a la planta de tratamiento de efluentes líquidos del tambo analizado. Las dimensiones específicas de cada unidad se detallan en el capítulo correspondiente a la Memoria de Cálculo. Cabe destacar que los planos realizados consideran únicamente las unidades de tratamiento de la *Alternativa 2*, dado que es la alternativa seleccionada en el presente proyecto. Los planos incluidos en el **Anexo III** contienen representaciones de cada unidad de proceso diseñada (vista en planta y corte), así como una vista superior de la planta en su conjunto. A continuación, se presenta el listado de los planos.

Plano I: Ecuador y canasto de retención de sólidos.

Plano II: Sistema de coagulación – floculación.

Plano III: Sedimentador primario.

Plano IV: Reactor biológico *raceway*.

Plano V: Sedimentador secundario.

Plano VI: Laguna de maduración.

Plano VII: Espesador de lodos.

Plano VIII: Conjunto total de unidades de tratamiento del efluente.

Capítulo VIII: Conclusiones

A partir del desarrollo del presente proyecto se logró realizar el diseño de una planta de tratamiento de efluentes líquidos para una instalación primaria de producción de leche (tambo) que no contaba con un sistema de gestión de los mismos. Mediante revisión bibliográfica se realizó la caracterización del efluente, pudiendo identificar aquellos contaminantes que no cumplen con las regulaciones aplicables. Mediante la identificación de la operación de las instalaciones se realizó la caracterización de los caudales de efluentes líquidos generados por la operación.

A partir de la caracterización se plantearon dos alternativas para la planta de tratamiento de efluentes líquidos (ambas alternativas planteadas cumpliendo con los límites legales de vuelco determinados por la legislación). La primera se asemeja a un sistema tradicional ampliamente utilizado en la región, basado en un sistema de lagunas de tratamiento, mientras que la segunda alternativa resulta más innovadora, proponiendo un sistema de tratamiento con microalgas para el tratamiento biológico. Se realizó la memoria descriptiva de las unidades de cada alternativa, la memoria de cálculo y la evaluación de los costos (inversión inicial y operación y mantenimiento), permitiendo realizar una evaluación en profundidad de las características de cada alternativa. En función de 10 criterios, se determinó que la *Alternativa 2* es la más conveniente para el proyecto.

La alternativa seleccionada destaca por su versatilidad, por los bajos costos asociados y por la generación de un producto comercializable generado a partir del tratamiento de los efluentes líquidos. Esta alternativa cuenta con un pretratamiento compuesto por un canasto de desbaste y un equalizador (donde se unifican el efluente industrial y el cloacal), un tratamiento primario compuesto por un sistema de coagulación – floculación y un sedimentador primario, un tratamiento secundario compuesto por dos reactores *raceway*, caracterizados por la presencia de microalgas, un sistema de recuperación de la biomasa para la elaboración de un bioestimulante comercial que contiene una unidad de coagulación – floculación seguida de un sedimentador secundario y finalmente una laguna de maduración. Para la generación del bioestimulante los lodos (biomasa) generados en el sedimentador secundario son dirigidos a una centrífuga para su deshidratación y posterior almacenamiento.

El Estudio de Impacto Ambiental realizado permitió determinar que el proyecto desarrollado es ambientalmente viable, siempre que el Plan de Gestión Ambiental y el Plan de Contingencias estén vigentes. Es por esto que se concluye que el proyecto es viable ambientalmente, técnicamente y económicamente.

Bibliografía

Acien, F. G., Gómez, C., Morillas, A., Zouhayr, A., Sanchez, A., Nordio, R., Rodriguez, E., Guzman, J. L. & Fernández-Sevilla, J. M. (2023). Wastewater treatment by microalgae-based processes. *Algal Systems for Resource Recovery from Waste and Wastewater*, 77.

Appella, B. L. D. (2023). Geología y geomorfología del tramo medio e inferior de la Cuenca del Río Salado: variabilidad hidroclimática y su aplicación al manejo ambiental (Doctoral dissertation, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires).

Arbib Z., Marín D., Cano R., Saúco C., Fernandez M., Lara E. and Rogalla F. (2022). Large-scale demonstration of microalgae-based wastewater biorefineries. In: *Integrated Wastewater Management and Valorization Using Algal Cultures*, Goksel N. Demirer, Sibel Uludag-Demirer (eds.), Elsevier, pp. 215–234, ISBN 9780323858595, <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85859-5.00007-5>.

Arévalo, M., Van Echelpoel, W., Alvarado, A., Goethals, P., & Larriva, J. (2017). Análisis espacial-temporal de procesos relacionados con concentraciones de oxígeno disuelto en lagunas de maduración. *Maskana*, 8(2), 115-123.

Auge, M. P. (2004). Regiones hidrogeológicas.

BirdLife International. (2024). *Important Bird Area factsheet: Cuenca del Río Salado (Argentina)*. Recuperado de <https://datazone.birdlife.org/site/factsheet/cuenca-del-r%C3%ADo-salado-iba-argentina>.

Buelink, D., Schaller, A. & Labriola, S. (1996). *Principales cuencas lecheras argentinas*. Secretaria de Agricultura, Pesca y Alimentación Subsecretaría de Alimentación Departamento de Lechería.

Castro, A., Herbin, A. L., Butler, L., Vela, M. E., & Pérez, R. A. (2022). *Tambos familiares de la Cuenca Abasto Sur. El caso de la Cooperativa Amanecer Organizado, partidos de Punta Indio y Magdalena, Buenos Aires, Argentina*. Ciencias Agronómicas.

Chayanov, A.V. (1974). *La organización de la unidad económica campesina*. Ediciones Nueva Visión, Buenos Aires.

Chimicz, J., & Gambuzzi, E. (2007). *Recientes cambios y posibles rumbos tecnológicos del tambo argentino*. Boletín del INTA Centro Regional Santa Fe. Proyecto Lechero.

Chisti, Y. (2013). Raceways-based production of algal crude oil. *Green*, 3(3-4), 195-216.

Chisti, Y. (2016). Large-scale production of algal biomass: raceway ponds. *Algae biotechnology: products and processes*, 21-40.

Chowdury, K. H., Nahar, N., & Deb, U. K. (2020). The growth factors involved in microalgae cultivation for biofuel production: a review. *Computational Water, Energy, and Environmental Engineering*, 9(4), 185-215.

Correa, C., Rezzano, N., García, F. (2016). *Manual para la gestión ambiental de tambos*. Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente de Uruguay.

Costa, J. A. V., Freitas, B. C. B., Cruz, C. G., Silveira, J., & Morais, M. G. (2019). Potential of microalgae as biopesticides to contribute to sustainable agriculture and environmental development. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 54(5), 366-375.

Craggs, R. J., Sukias, J. P., Tanner, C. T., & Davies-Colley, R. J. (2004). Advanced pond system for dairy-farm effluent treatment. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 47(4), 449-460.

De Grande, P. (2019). Establecimientos de salud, 2018. Recuperado el 6 de febrero, 2025, de <https://mapa.poblaciones.org/map/4001>

De Souza Leite, L., Hoffmann, M. T., & Daniel, L. A. (2019). Coagulation and dissolved air flotation as a harvesting method for microalgae cultivated in wastewater. *Journal of Water Process Engineering*, 32, 100947.

Dotro, G., Langergraber, G., Molle, P., Nivala, J., Puigagut, J., Stein, O., & Von Sperling, M. (2021). *Biological Wastewater Treatment Series Volume 7: Treatment Wetlands*.

Eckenfelder, W. (2000). *Industrial water pollution control*.

Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento (ENOHSA). (2021). *Cloacas: Una guía para entender el sistema de saneamiento*. Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de la República Argentina. Recuperado de <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2021/04/cloacas.pdf>

Grec. (n.d.). *Grec Static Mixers Brochure*. Recuperado de <https://www.grec.it/images/documenti/brochure/en/14%20GREC%20Static%20Mixers%20Brochure.pdf>

Grimaud, G. M., Mairet, F., Sciandra, A., & Bernard, O. (2017). Modeling the temperature effect on the specific growth rate of phytoplankton: a review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 16(4), 625-645.

Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. (s.f.). *Capacidades bonaerenses - Roque Pérez*. Recuperado el 6 de febrero de 2025, de: https://www.gba.gob.ar/capacidadesbonaerenses/listadecapacidades/roque_p%C3%A9rez.

Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. (s. f.). *Cuenca del Río Salado*. Recuperado de https://www.gba.gob.ar/hidraulica/interior_bonaerense/cuenca_salado

Goldman, J. C. and E. J. Carpenter. 1974. A kinetic approach to the effect of temperature on algal growth. *Limnol. Oceanog.* 19, 756–766.

Gómez, S. E. (2015). Comunidad de peces de la cuenca del Río Salado del Sur y notas para su conservación (Argentina, Sud América). *Bioikos*, 29(1), 21–28. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/296696052_Peces_del_Rio_Salado_Argentina_21

Hamdani, A., Mountadar, M., & Assobhei, O. (2005). Comparative study of the efficacy of three coagulants in treating dairy factory waste water. *International journal of dairy technology*, 58(2), 83-88.

Hamoda, M. F., & Al-Awadi, S. M. (1995). Wastewater management in a dairy farm. *Water Science and Technology*, 32(11), 1-11.

Hosikian, A., Lim, S., Halim, R., & Danquah, M. K. (2010). Chlorophyll extraction from microalgae: A review on the process engineering aspects. *International journal of chemical engineering*, 2010(1), 391632.

Kruse, E. y Zimmermann, E. 2002. Hidrogeología de grandes llanuras. Particularidades en la llanura pampeana (Argentina). *Groundwater and Human Development*, 2025-2038.

Lesser, A. R., & Cabona, O. J. (1979). Instalaciones y equipos de ordeño.

Masojídek, J., Gómez-Serrano, C., Ranglová, K., Cicchi, B., Encinas Bogeat, Á., Câmara Manoel, J. A., ... & Ación-Fernández, F. G. (2022). Photosynthesis monitoring in microalgae cultures grown on municipal wastewater as a nutrient source in large-scale outdoor bioreactors. *Biology*, 11(10), 1380.

Matteucci, S., Rodriguez, A., Silva, M., & de Haro, C. (2012). Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos. Buenos Aires, Orientación Gráfica Editora, 309-348.

McCabe, W.L., Smith, J.C. and Harriott, P. (1998) Operaciones Unitarias en ingeniería química. Madrid: McGraw-Hill.

Medan, D.; J.P. Torretta; K. Hodara; E.B. de la Fuente and N.H. Montaldo. 2011. Effects of agriculture expansion and intensification on the vertebrate and invertebrate diversity in the Pampas of Argentina. *Biodiversity and Conservation* 20: 3077-3100.

Metcalf & Eddy, Inc., Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, D. H. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse* (4 Sub ed.). McGraw-Hill Science/Engineering/Math.

Ministerio de Infraestructura y Servicios Públicos de la Provincia de Buenos Aires. (2020). *Atlas de Cuencas y Regiones Hídricas-Ambientales de la Provincia de Buenos Aires - Etapa 1*. Recuperado de <https://www.minfra.gba.gov.ar/web/Hidraulica/Atlas.pdf>

Montes Córdoba, M.D. (2019). *MODULO TAMBO CLASES TEÓRICO PRÁCTICAS Cálculo de requerimientos*. Recuperado de: <https://slideplayer.es/slide/14241116/>

Observatorio de la Cadena Láctea Argentina. (2023). *Unidades Productivas: evolución*. Recuperado de:

<https://www.ocla.org.ar/contents/newschart/portfolio/?categoryid=17#cbp=/grafico/10022024>

Observatorio de la Cadena Láctea Argentina. (2022). *Estructura de la producción primaria – julio 2022*. Recuperado de:

<https://www.ocla.org.ar/noticias/23844827-estructura-de-la-produccion-primaria-julio-2022>

Ordoqui, M. S., Mogni, F., & Hervias, D. (2002). *Características de la producción lechera argentina*. Apuntes agroeconómicos.

Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC). (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* (H. S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, & K. Tanabe, Eds.). IGES. Recuperado de <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>.

Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC). (2021–2023). *Sexto Informe de Evaluación (AR6)*. Recuperado de <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>.

Pereyra, F. X., & Tobío, M. I. (2018). Geomorfología de la Provincia de Buenos Aires.

Pozos-Estrada, O., Fuentes, O. A., Sánchez, A., Rodal, E. A., & De Luna, F. (2017). Análisis de los efectos del aire atrapado en transitorios hidráulicos en acueductos a bombeo. *Revista Internacional de métodos numéricos para cálculo y diseño en ingeniería*, 79-89.

Rearte T.A., Nashiro A., Kucher H., Gonzales C., Ibañez M., Marsili S. E. “¿Lo que observamos a escala de laboratorio sucede a escala piloto? Diseño y operación de una planta piloto de tratamiento de aguas residuales con microalgas”. XIV Simposio Argentino de Ficología, Catamarca 21-22 septiembre 2023.

Reutelshöfer, T., SENASBA, AAPS, & Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (2015). *Guía de Operación y Mantenimiento de Lagunas de Oxidación en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Calidad de Agua*. Recuperado de: https://periagua.weebly.com/uploads/8/9/3/5/89354334/guia_o_y_m_ptar.pdf.

Romero Rojas, J. A. (2004). *Tratamiento de aguas residuales*. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

Romero Rojas, J. A. (2005). *Lagunas de estabilización de aguas residuales*. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

Sala, J., Gonzalez, N. y Kruse, E. 1983. Generalización Hidrológica de la Provincia de Buenos Aires. Coloquio Intern. De Grandes Llanuras. Unesco. V III: 975-1008. Olavarría. Prov. de Buenos Aires.

Sánchez-Zurano, A., Morillas-España, A., Gómez-Serrano, C., Ciardi, M., Ación, G., & Lafarga, T. (2021). Annual assessment of the wastewater treatment capacity of the microalga *Scenedesmus almeriensis* and optimisation of operational conditions. *Scientific reports*, 11(1).

Servicio Meteorológico Nacional. (2024). *Temperatura mínima. Estación Las Flores*. Servicio Meteorológico Nacional. Recuperado de <https://www.smn.gob.ar/clima/vigilancia>.

Sociedad Argentina para el Estudio de los Mamíferos (SAREM). (2019). *Categorización de los mamíferos de Argentina*. Recuperado de <https://cma.sarem.org.ar/es>.

Subsecretaría de Recursos Hídricos. (2021). Evaluación de estudio de impacto ambiental y social: “Sistema de desagües cloacales en la localidad de O’Brien”. Ministerio de Infraestructura y Servicios Públicos.

Tzoupanos, N. D., & Zouboulis, I. (2008). Coagulation-flocculation processes in water/wastewater treatment: the application of new generation of chemical reagents. In *6th*

IASME/WSEAS international conference on heat transfer, thermal engineering and environment (HTE'08), August 20th–22nd, Rhodes, Greece (pp. 309-317).

UN-HABITAT, 2008. *Constructed Wetlands Manual*. UN-HABITAT Water for Asian Cities Programme Nepal, Kathmandu.

US Environmental Protection Agency. (1995). *Process design manual: Land application of sewage sludge and domestic septage. USEPA-625-R-95-001. Center for Environmental Research.*

US Environmental Protection Agency. (2002). *Wastewater Technology Fact Sheet: Facultative Lagoons*. United States Environmental Protection Agency. Recuperado de: <https://docslib.org/doc/7801747/wastewater-technology-fact-sheet-facultative-lagoons>.

Yrigoyen, M.R. 1975. *Geología del subsuelo y plataforma continental*. En Congreso Geológico Argentino, No 6. Relatorio: 139-168. Bahía Blanca.

Anexo I

Tabla A 1: Parámetros fisicoquímicos de efluentes de tambo. Se incluyen las fuentes de información de los datos.

Parámetro	Unidad	Schaafsma et al (1998)	Glessi & González (2013)	Nosetti et al (2002)	Hamoda & Awadi (1996)	Luostarinen & Rintala (2005)	Newman, Clausen & Neafsey (2000)	Schierano et al (2017)	Craggs et al (2004)	Promedio	Valores adoptados
DQO	mg/l		3414,34	2480,00	1541,00	596,00		271,00		1660,47	3414,34
DBO	mg/l	1913,90		974,50		240,00	2683,00			1452,85	1452,85
SS	ml/l		9,01							9,01	9,01
SST	mg/l							208,00	295,00	251,50	208,00
ST	mg/l	1644,70	572,10		3555,00		1284,00			1763,95	572,10
NT	mg/l	164,23		237,37		30,00	102,64	62,80	124,00	120,17	120,17
NH ₄ ⁺	mg/l	71,71		114,91	48,50		7,72	48,80	60,00	58,61	58,61
PT	mg/l	52,59		28,89	20,00	17,00	25,70	14,60	35,00	27,68	27,68
FRT	mg/l				20,00				15,00	17,50	17,50
SSEE	mg/l									35,00	35,00
pH	UpH			7,81	7,90		7,20	8,18	0,00	6,22	7,64

Tabla A 2: Valores promedio de generación de efluente total a lo largo de las 24hs del día.

Franja horaria	Período de tiempo	Caudal medio de ingreso [m ³ /h]	Volumen medio de ingreso [m ³]	Volumen acumulado en cada periodo [m ³]	Volumen acumulado de salida para cada periodo [m ³]	ΔV [m ³]
06:00 - 07:00	1	1,16	1,16	1,16	3,55	-2,39
07:00 - 08:00	2	13,80	13,80	14,96	7,10	7,86
08:00 - 09:00	3	23,85	23,85	38,81	10,65	28,16
09:00 - 10:00	4	3,64	3,64	42,45	14,20	28,25
10:00 - 11:00	5	0,08	0,08	42,53	17,75	24,78
11:00 - 12:00	6	0,08	0,08	42,60	21,30	21,30
12:00 - 13:00	7	0,08	0,08	42,68	24,85	17,83
13:00 - 14:00	8	0,08	0,08	42,75	28,40	14,35
14:00 - 15:00	9	1,16	1,16	43,91	31,95	11,96
15:00 - 16:00	10	13,80	13,80	57,71	35,50	22,21
16:00 - 17:00	11	23,85	23,85	81,56	39,05	42,51
17:00 - 18:00	12	3,64	3,64	85,20	42,60	42,60
18:00 - 19:00	13	0,00	0,00	85,20	46,15	39,05
19:00 - 20:00	14	0,00	0,00	85,20	49,70	35,50
20:00 - 21:00	15	0,00	0,00	85,20	53,25	31,95
21:00 - 22:00	16	0,00	0,00	85,20	56,80	28,40
22:00 - 23:00	17	0,00	0,00	85,20	60,35	24,85
23:00 - 00:00	18	0,00	0,00	85,20	63,90	21,30
00:00 - 01:00	19	0,00	0,00	85,20	67,45	17,75
01:00 - 02:00	20	0,00	0,00	85,20	71,00	14,20
02:00 - 03:00	21	0,00	0,00	85,20	74,55	10,65
03:00 - 04:00	22	0,00	0,00	85,20	78,10	7,10
04:00 - 05:00	23	0,00	0,00	85,20	81,65	3,55
05:00 - 06:00	24	0,00	0,00	85,20	85,20	0,00

Tabla A 3: Accesorios instalados en cada tramo de la cañería de la Alternativa 1.

Línea	Denominación	Accesorio instalado	Constante de fricción (K_{acc})	Cantidad	Constante total (sumatoria)
Efluente	I.1A	Codo de 90° estándar	0,70	1	0,70
	I.1B	Codo de 90° estándar	0,70	1	0,70
	I.1C	Tubo Venturi	2,50	1	2,50
		Válvula anti retorno	2,00	1	2,00
		Codo de 90° estándar	0,70	3	2,10
	I.2A	Tubo en T (conducto recto)	1,60	1	1,60
	I.2B	Codo de 90° estándar	0,70	1	0,70
	I.2C	Codo de 90° estándar	0,70	1	0,70
	I.3A	Codo de 90° estándar	0,70	1	0,70
	I.3B	Codo de 90° estándar	0,70	1	0,70
	I.3C	Tubo en T (conducto recto)	1,60	1	1,60
	I.3D	-			0,00
	I.3E	Tubo en T (conducto recto)	1,60	1	1,60
		Tubo en T (salida lateral)	0,40	2	0,80
		Codo de 90° estándar	0,70	2	1,40
	I.4A	Tubo en T (conducto recto)	1,60	3	4,80
		Codo de 90° estándar	0,70	2	1,40
	I.4B	-			0,00
	I.4C	-			
	Lodos	I.5A	Codo de 90° estándar	0,70	5
Válvula de compuerta			0,15	1	0,15
I.5B		Codo de 90° estándar	0,70	3	2,10
		Válvula anti retorno	2,00	1	2,00
I.5C		Codo de 90° estándar	0,70	1	0,70
	Válvula anti retorno	2,00	1	2,00	
Recirculación	I.6A	Codo de 90° estándar	0,70	3	2,10
	I.6B	Codo de 90° estándar	0,70	3	2,10

Tabla A 4: Accesorios instalados en cada tramo de la cañería de la Alternativa 2.

Línea	Denominación	Accesorio instalado	Constante de fricción (K_{acc})	Cantidad	Constante total (sumatoria)
Efluente	II.1A	Codo de 90° estándar	0,70	1	0,70
	II.1B	Codo de 90° estándar	0,70	1	0,70
	II.1C	Tubo Venturi	2,50	1	2,50
		Válvula anti retorno	2,00	1	2,00
	II.2A	Codo de 90° estándar	0,70	3	2,10
		-			0,00
	II.2B	Tubo en T (conducto recto)	1,60	1	1,60
	II.2C	Codo de 90° estándar	0,70	1	0,70
	II.2D	Codo de 90° estándar	0,70	1	0,70
	II.3A	Codo de 90° estándar	0,70	1	0,70
	II.3B	Codo de 90° estándar	0,70	1	0,70
	II.3C	Tubo en T (conducto recto)	1,60	1	1,60
	II.3D	-			0,00
	II.3E	-			0,00
	II.4A	-			0,00
	II.4B	-			0,00
Biomasa	II.5A	Codo de 90° estándar	0,70	4	2,80
		Válvula de compuerta	0,15	1	0,15
	II.5B	Codo de 90° estándar	0,70	1	0,70
		Válvula de compuerta	0,15	1	0,15
Lodos	II.6A	Codo de 90° estándar	0,70	5	1,00
		Válvula de compuerta	0,15	1	0,15
	II.6B	Codo de 90° estándar	0,70	3	0,60
		Válvula anti retorno	2,00	1	2,00
	II.6C	Codo de 90° estándar	0,70	1	0,20
		Válvula anti retorno	2,00	1	2,00
Recirculación	II.7A	Codo de 90° estándar	0,70	3	2,10
	II.7B	Codo de 90° estándar	0,70	3	2,10
	II.7C	Codo de 90° estándar	0,70	3	2,10

Anexo II

En el presente anexo se adjuntan los catálogos de los equipos necesarios para la operación de la planta de tratamiento de efluentes del tambo analizado.



Información Técnica

Los difusores de membrana Repicky se fabrican en dos versiones, de burbuja fina y de burbuja gruesa.

Los primeros, modelo RG-300 con miles de microperforaciones, permiten obtener valores muy altos de transferencia de O_2 siendo ideales para su instalación en los reactores aeróbicos de las plantas de tratamiento de efluentes, tanto industriales como cloacales.



Para otros diámetros o materiales de cañerías consultar el tipo de adaptador.

Por otra parte los difusores de burbuja gruesa modelo CB-300, se utilizan en tanques de ecualización, digestores aeróbicos y también en cámaras de aireación de efluentes con muy baja demanda de O_2 (DBO).

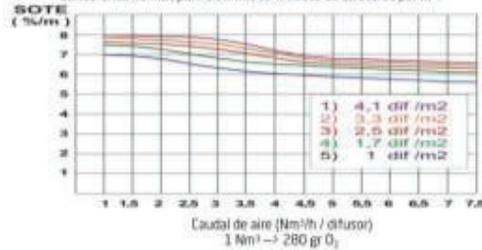
Consulte por nuevos materiales disponibles para su efluente industrial.

Difusor de burbuja fina | RG-300

Rango de caudal:	2 a 8 Nm^3 /hora
Caudal de diseño:	5 Nm^3 /hora
Pérdida de carga:	20 mbar para 2 Nm^3 /hora 40 mbar para 5 Nm^3 /hora 70 mbar para 8 Nm^3 /hora
Densidad:	1 a 6 difusores/ m^2
SOTE:	15,4 gr. (5,5%) a 22,4 gr. (8%) por m^3 /h de aire y por m de profundidad.
Eficiencia de transferencia de O_2 :	2,5 – 6 Kg. O_2 /Kwh



Transferencia de O_2 para el modelo RG-300 por metro de profundidad en función del caudal de aire por difusor (m^3/h) a 20 °C, agua limpia y presión atmosférica normal, para distintas cantidades de difusores por m^2 .



La membrana de EPDM o Acrilo nitrilo de ambos modelos, permite operar en forma intermitente, sin que ingrese líquido a las cañerías sumergidas facilitando el arranque de los sopladores de aire.

Difusor de burbuja gruesa | CB-300

Rango de caudal:	3 a 25 Nm^3 /hora
Caudal de diseño:	10 Nm^3 /hora
Pérdida de carga:	20 mbar para 3 Nm^3 /hora 40 mbar para 10 Nm^3 /hora 70 mbar para 25 Nm^3 /hora
Densidad:	0,5 a 3 difusores/ m^2
SOTE:	5,1 gr. (1,8%) a 7,4 gr. (2,6%) por m^3 /h de aire y por m de profundidad.
Eficiencia de transferencia de O_2 :	0,8 – 2 Kg. O_2 /Kwh



Figura A 1: Catálogo de difusores para el ecualizador. Se seleccionan difusores de burbuja gruesa CB-300.

Tabla de Selección de Sopladores trabajando como Compresor

Los valores indicados con una tolerancia de +/- 5 %, tanto de caudal de aspiración como de potencia del cabezal sin accesorios, corresponden a presión atmosférica normal P= 1013 mbar y temperatura de admisión del aire T = 20°C. Para otros gases y/o condiciones operativas, consultar.

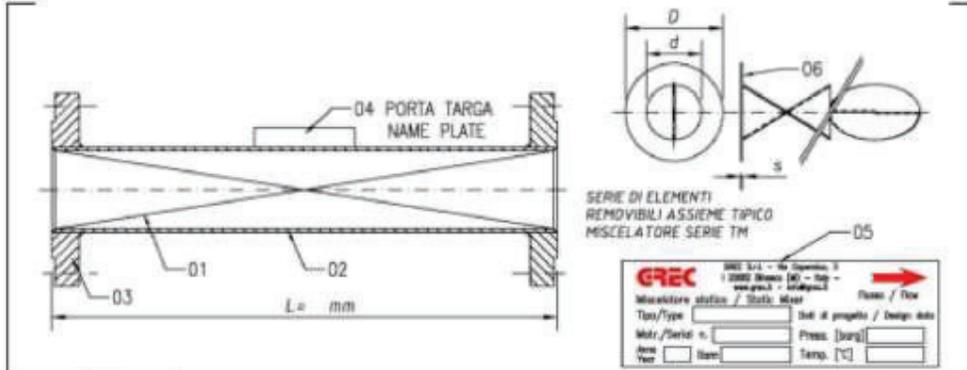


Modelo	RPM	100		200		300		400		500		600		700		800		900		1000		
		Q m³/h	P HP																			
R100	1450	25.8	0.4	23.1	0.5	1.8	0.7	1.7	0.9													
	2250	54	0.6	47.5	0.8	42.7	1.1	36.1	1.4	34.3	1.6	30.8	1.8									
	2900	74	0.7	67.3	1.1	62.2	1.4	57.9	1.6	54.1	2.0	50.6	2.3	47.4	2.7							
R200	1450	63	0.6	52	0.9	43.3	1.3	35.9	1.8													
	2250	112	0.9	101	1.4	92.1	1.9	84.6	2.4	78.1	2.9	72.1	3.4									
	2900	152	1.2	140	1.8	132	2.4	124	3.1	118	3.8	112	4.5	106	5.1	101	5.7					
R300	1450	89	0.6	80	1.1	65	1.5	56	1.9	48	2.4											
	2250	156	0.9	142	1.6	131	2.3	122	3.0	114	3.7	107	4.4	100	5.0							
	2900	210	1.2	196	2.0	185	3.0	176	3.9	168	4.8	161	5.6	154	6.5	148	7.5					
R400	1450	342	1.8	328	3.2	318	4.7	309	6.0	301	7.4	294	8.7	286	10.2	280	11.5					
	2250	442	2.0	432	3.6	422	5.1	413	6.6	404	8.1	395	9.6	386	11.1	377	12.6					
	2900	522	2.5	504	4.5	491	6.5	480	8.5	470	11.0	461	13.4	452	15.4	444	17.6	437	19.6			
R500	1450	185	1.2	158	2.1	138	3.0	120	3.9	105	4.9											
	2250	319	1.8	293	3.3	272	4.7	255	6.1	239	7.5	225	8.9	212	10.3							
	2900	429	2.4	402	4.2	382	6.0	364	7.9	349	9.7	335	11.4	321	13.3	309	15.1					
R600	1450	297	2.0	275	3.3	258	4.6	245	5.8	232	7.2	223	8.4	216	9.7							
	2250	487	3.1	466	5.1	449	7.1	435	9.1	422	11.1	411	13.1	400	15.0	390	17.1	381	19.0			
	2900	643	4.0	620	6.6	603	9.1	589	11.7	577	14.3	565	16.8	555	19.4	545	21.9	535	24.5	527	27.1	
R1000	1450	974	5.9	953	9.8	936	13.6	922	17.4	910	21.1	898	24.9	888	28.7	879	32.6	868	36.4			
	2250	1597	8.8	1558	14.7	1519	21.5	1480	28.4	1441	37.2	1402	45.9	1363	54.4	1324	61.8	1285	68.7			
	2900	2120	11.7	2061	19.0	2002	25.8	1943	34.6	1884	45.4	1825	54.1	1766	63.8	1707	72.6	1648	81.0			
R1200	1450	433	2.5	407	4.4	387	6.2	370	8.1	355	9.9	341	11.8	329	13.5	317	15.3					
	2250	703	4.0	677	6.8	657	9.6	640	12.4	625	15.2	612	18.0	599	21.0	587	23.8					
	2900	922	5.0	897	8.7	877	12.4	860	16.0	845	19.7	831	23.3	819	27.0	807	30.8					
R1.5	1450	605	4.0	570	6.5	543	9.0	520	11.6	499	14.2	481	16.7	464	19.2	448	21.7					
	2250	981	6.2	947	10.1	920	14.1	897	18.0	877	21.9	859	25.9	840	29.9	825	33.8	800	37.7	795	41.7	
	2900	1289	8.0	1253	13.1	1226	18.1	1203	23.2	1183	29.3	1164	33.4	1147	38.4	1131	43.6	1115	48.6	1101	53.7	
R2.0	1450	892	5.1	850	8.8	816	12.5	788	16.2	763	19.8	740	23.5	719	27.2	699	30.8					
	2250	1437	8.0	1395	13.7	1362	19.4	1333	25.0	1308	30.7	1285	36.5	1264	42.2	1244	47.8					
	2900	1881	10.3	1838	17.6	1805	24.9	1776	32.3	1751	39.7	1729	46.9	1707	54.3	1688	61.7					
R2.5	1450	1289	7.5	1213	13.3	1170	19.2	1133	25.1	1100	31.0	1070	36.8									
	2250	2039	11.6	1983	20.7	1940	29.8	1903	38.9	1870	48.0	1840	57.1									
	2900	2665	15.0	2609	26.7	2565	36.4	2528	50.2	2495	61.9	2465	73.7									
R3.0	1450	1676	7.4	1612	12.5	1568	17.8	1531	22.8	1497	28.1	1468	33.3	1441	38.5	1415	41.7	990	48.0	1255	65.2	
	2250	2697	11.4	2631	19.5	2587	27.5	2549	35.5	2517	43.6	2487	51.6	2460	58.7	2434	67.7	2398	75.8	2366	83.8	
	2900	3517	14.0	3442	23.8	3397	33.7	3361	43.5	3329	53.3	3301	63.1	3276	72.9	3254	82.7	3234	92.6			
R3.5	1450	1707	9.2	1626	16.2	1562	23.3	1508	30.3	1461	37.2	1418	44.3	1372	51.3	1340	58.4					
	2250	2697	11.3	2616	19.8	2553	28.0	2499	36.8	2451	45.0	2408	53.4	2368	62.0	2331	70.4					
	2900	3517	14.3	3436	25.1	3385	36.1	3351	46.9	3320	57.9	3290	68.2	3260	79.6	3232	90.6					
R3.8	1450	2400	12.2	2280	22.2	2180	32.2	2090	42.3	2020	52.3	1952	62.4									
	2250	3567	14.7	3436	26.9	3336	38.9	3254	51.2	3176	63.1	3100	75.3									
	2900	4627	18.9	4496	34.5	4396	50.1	4303	65.6	4220	81.2	4140	96.7									
R4.0	1000	1676	9.4	1600	18.3	1539	23.2	1488	30.1	1442	36.9	1400	43.7	1363	50.6	1326	57.5	1293	64.4	1264	101	
	1450	2510	13.6	2432	23.6	2372	33.6	2320	43.6	2274	53.4	2233	63.4	2196	73.5	2160	83.4	2126	93.4	2094	108	
	2250	3665	16.4	3587	28.4	3527	40.5	3476	52.6	3430	64.6	3388	76.6	3350	88.7	3314	101	3281	113	3248	125	
R4.5	1000	2262	11.7	2160	21.0	2080	30.3	2014	39.6	1953	48.8	1900	58.1	1848	67.3	1800	77					
	1450	3382	17.1	3281	30.5	3202	43.9	3134	57.3	3074	70.8	3020	84.2	2970	97.7	2923	111					
	2250	4131	20.6	4028	36.8	3950	55.7	3882	69.3	3822	85.5	3768	102	3718	118	3670	134					
R5.0	900	3080	18.8	2945	31.4	2842	44.0	2752	56.6	2675	69.2	2605	82	2537	94	2475	107	2418	119	2360	149	
	1150	4020	24.2	3885	40.2	3780	56.2	3692	72.3	3612	88.3	3542	104	3475	120	3414	136	3356	153	3300	189	
	1450	5145	30.4	5010	50.6	4907	70.9	4820	91.2	4740	111	4670	132	4603	152	4540	172	4482	192	4427	213	
R5.5	900	4640	25.0	4495	43.7	4325	62.5	4208	81.2	4107	100	4010	119	3925	137	3840	158					
	1150	6040	32.0	5885	56.0	5725	79.8	5607	104	5505	128	5410	152	5325	176	5240	200					
	1450	7720	40.4	7545	70.5	7405	101	7290	131	7185	161	7090	191	7000	221	6920	252					
R6.0	900	5890	34.5	5675	58.2	5510	81.9	5370	106	5245	129	5130	153	5025	177	4925	200	4835	224	4745	247	
	1100	7480	43.2	7265	72.8	7100	102	6960	132	6835	162	6720	191	6620	221	6525	250	6425	280	6335	309	
	1200	9070	51.8	8850	87.3	8690	123	8552	158	8430	194	8315	229	8210	265	8110	306	8020	336	7930	371	
R6.5	900	7930	42.6	7670	74.4	7460	106	7280	138	7130	170	6990	201	6850	233	6730	265					
	1100	10070	51.3	9800	92.9	9600	131	9420	172	9260	212	9120	252	8990	291	8860	331					

STATIC MIXER SERIES TM-R - TURBULENT REGIME

Model: TM4/6-R-DN25+80PN16

Rev	Data	Fatto	Verif	Appr.
0	01/10/12	MF	MM	MM



POS	Q.ty	Description	Material
01	4 / 6	REMOVABLE MIXING ELEMENTS TIPE TM DN	AISI 304
02	1	PIPE DN	AISI 304
03	2	FLANGE DN	AISI 304
04	1	NAME PLATE SUPPORT	AISI 304
05	1	NAME PLATE	AISI

Design code	ASME VIII Div 1	Design temperature	-20° +150°C
Connection	EN1092-1	Design pressure	12 bar
Length (L)	See table L (mm)	Material	SS 304
Efficiency	> 95%	Pressure drop	Max 0,5 bar

Note:

PROCESS DATA			
No. Mixing elements	Viscosity ratio μ_1 / μ_2	Density ratio SG1/SG2	Flow rate ratio Q1/Q2
4	< 1:2000	< 1:10	< 1:250
6			< 1:1000

PIPE DN	FLOW RATE		LENGTH L (mm)						Note	
	Q min (m³/h)	Q max (m³/h)	4 EL	CODE	6 EL	CODE	D	d		s
25	0,25	4	180		260		68	22	3	
40	0,45	9	260		390		88	36	3	
50	1,2	15	330		490		102	48	3	
65	1,5	22	420		620		120	58	3	
80	1,8	33	515		760		130	74	3	

Figura A 3: Catálogo de coaguladores estáticos Grec. Se selecciona el modelo TM6-DN65PN16.

Single Impeller

Single Impeller Dia.	50Hz (Metric)												60Hz (IEC Metric)												60Hz (IEC Imperial)											
VRG	0205	0305	0405	0555	0805	1155	1605	2255	3255	0206	0306	0406	0556	0806	1156	1606	2256	3256	0206	0306	0406	0556	0806	1156	1606	2256	3256									
D	225	300	400	550	800	1150	1600	2250	3250	200	300	400	550	800	1150	1600	2250	3250	7.9	11.8	15.7	21.7	31.5	45.3	63	86.8	128									
N	349	228	180	110	79	52	36	27	18	345	226	170	113	80	51	37	26	17	345	226	170	113	80	51	37	26	17									
Pm	0.18	0.25	0.55	1.1	1.5	3	3	7.5	15	0.18	0.25	0.37	1.1	1.5	3	5.5	7.5	15	0.25	0.33	0.5	1.5	2	4	7.5	10	20									
Weight	kg (lbs)	12	15	29	37	80	226	453	865	13	15	27	57	80	226	473	866	2100	29	33	66	126	178	499	1543	1962	4630									
Ht	mm (in)	333	359	390	460	528	650	722	832	1120	333	359	389	460	528	650	799	832	1120	13.1	14.1	15.3	18.1	20.8	25.9	31.5	32.8	44.1								
Hh	mm (in)	64	96	128	176	256	368	512	720	1040	64	96	128	176	256	368	512	720	1040	2.5	3.8	5	6.9	10.1	14.5	20.2	28.3	49.9								
Dp	mm (in)	200	300	400	500	600	700	800	900	1400	200	300	400	500	600	700	800	900	1400	7.9	11.8	15.7	21.7	31.5	45.3	63	86.8	128								
Range	F130	F130	F130	F130	F130	F263	F300	F400	F500	F130	F130	F130	F130	F130	F255	F300	F400	F500	F130	F130	F130	F130	F130	F130	F266	F300	F400	F500								
Sq. Plate (optional)	P250	P250	P250	P250	P250	P480	P500	P600	P700	P250	P250	P250	P250	P250	P400	P500	P600	P700	P250	P250	P250	P250	P250	P250	P480	P500	P600	P700								
Cou. Plate (optional)	8"	6"	6"	6"	6"	12"	12"	18"	22"	6"	6"	6"	6"	6"	12"	12"	18"	22"	6"	6"	6"	6"	6"	6"	12"	12"	18"	22"								
Max. La	mm (in)	1000	1100	1300	2100	2400	3700	5000	5800	6000	1000	1100	1300	1500	2100	2300	3700	5000	5900	6000	39.4	43.3	51.2	82.7	92.5	147.6	196.9	232.3	236.2							
Min. La	mm (in)	300	350	400	500	700	960	1300	1700	2350	300	350	400	500	700	960	1300	1700	2300	11.8	13.8	15.7	19.7	27.8	37.4	51.2	66.9	92.5								

50 Hz Single Impeller

TYPE	Model	Shaft length (mm)
VRG0205	VRG0205S100	1000
VRG0205	VRG0205S300	300
VRG0305	VRG0305S110	1100
VRG0305	VRG0305S35	350
VRG0405	VRG0405S130	1300
VRG0405	VRG0405S40	400
VRG0555	VRG0555S210	2100
VRG0555	VRG0555S50	500
VRG0805	VRG0805S240	2400
VRG0805	VRG0805S70	700
VRG1155	VRG1155S375	3750
VRG1155	VRG1155S95	950
VRG1605	VRG1605S500	5000
VRG1605	VRG1605S130	1300
VRG2255	VRG2255S580	5800
VRG2255	VRG2255S170	1700
VRG3255	VRG3255S600	6000
VRG3255	VRG3255S235	2350

60 Hz Single Impeller

TYPE	Model	Shaft length (mm)	Shaft length (in)
VRG0206	VRG0206S100	1000	39.4
VRG0206	VRG0206S300	300	11.8
VRG0306	VRG0306S110	1100	43.3
VRG0306	VRG0306S35	350	13.8
VRG0406	VRG0406S130	1300	51.2
VRG0406	VRG0406S40	400	15.7
VRG0556	VRG0556S210	2100	82.7
VRG0556	VRG0556S50	500	19.7
VRG0806	VRG0806S235	2350	92.5
VRG0806	VRG0806S70	700	27.6
VRG1156	VRG1156S375	3750	147.6
VRG1156	VRG1156S95	950	37.4
VRG1606	VRG1606S500	5000	196.9
VRG1606	VRG1606S130	1300	51.2
VRG2256	VRG2256S590	5900	232.3
VRG2256	VRG2256S170	1700	66.9
VRG3256	VRG3256S600	6000	236.2
VRG3256	VRG3256S235	2350	92.5

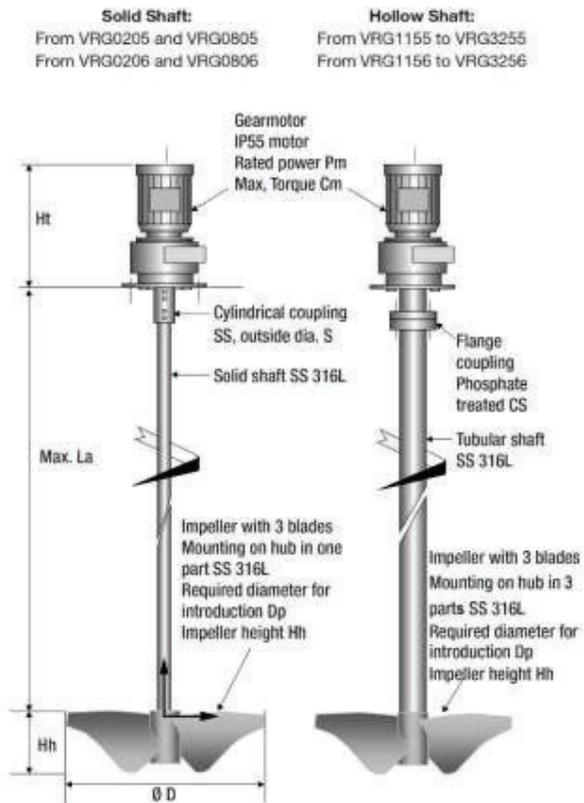


Figura A 4: Catálogo de mezcladores verticales Milton Roy. Se opta por el modelo 0205 VRG.



Our Algae Centrifuge is built to last. Here at US Filtermaxx, our centrifuges are **not** made from the cheapest, thinnest aluminum castings possible. We don't skimp on the metal and our body castings are a full 1 inch thick for maximum safety, durability and smooth operation. Our belt drive Algae centrifuge is built like a tank and our 1800 RPM motor runs at half the speed of a direct drive algae centrifuge. Our Algae centrifuge will outlast five direct drive centrifuges, and this is demonstrated by US Filtermaxx centrifuges that are still in service after **over 10 years** of continuous operation!

If you expect the **best in algae filtration**, then you need a US Filtermaxx WVO- Biodiesel Centrifuge! The **most powerful and dependable** small industrial centrifuge on the market!

- 240 to 1000 Gallons per day
- 10,000 G
- 8500 RPM Bowl
- 4.3 minutes residence time @ 10 GPH
- 2 hp Totally Enclosed Fan Cooled motor
- 240 Volts
- long Lasting 1800 RPM motor
- Separate Centrifuge Spindle (NOT direct drive)
- Motor bearings are NOT exposed to contaminants.

Figura A 5: Catálogo de la centrifuga seleccionada para la recuperación de biomasa del sistema de microalgas. Marca: US Filtermaxx.

Especificaciones Técnicas

FILTRO PRESA DE SEMI AUTOMÁTICO



NOTA:

(1) El FPSA es suministrado con:

- Frecuencias laterales en FPSA.
- Canal de escape de agua filtrada y efluentes.
- Conexión de agua a presión.
- Españal con sistema de regulación de tensión.
- Accesorio térmico y eléctrico.

(2) Compresor no incluido.

(3) Las dimensiones y especificaciones técnicas pueden variar ligeramente debido al control tecnológico de los productos por parte del equipo técnico de Toro Equipment S.L. Al realizar su pedido solicite plano de especificaciones en www.toroequipment.com

MODELO	Nº de placas	Nº de cámaras	Longitud	Anchura	Espesor	Peso en seco	Peso en carga	Superficie filtrante total	Volumen torta total FP	Temple placas y tortas
	pl.	ca.	mm (ft)	mm (ft)	mm (ft)	(kg)	(kg)	(m ²)	(l)	(ton)
FPSA 437	5	4	1.845	1.368	1.278	1.046	419	157	31	470
	8	6	1.740	1.368	1.278	428	469	63	47	470
	16	14	1.836	1.368	1.278	448	795	62	53	470
	20	18	2.000	1.368	1.278	718	837	7	96	470
	25	24	2.076	1.368	1.278	748	959	69	124	470
	30	28	2.840	1.368	1.278	818	1055	102	158	470
	35	34	3.076	1.368	1.278	968	1069	102	176	470
	40	38	3.200	1.368	1.278	978	1122	144	202	470
	44	44	3.400	1.368	1.278	968	1264	143	238	470
	50	48	3.620	1.368	1.278	1.020	1363	18	254	470
55	54	4.190	1.368	1.278	1.040	1423	28	338	470	
60	58	4.440	1.368	1.278	1.110	1507	31.8	376	470	
Cantidad tortas (ton): 2.9 Volumen de agua (l): 8 Cálculo para un espesor de torta de 32 mm										
FPSA 637	10	8	1.840	1.368	1.305	1.010	1.340	118	85	630
	16	14	2.100	1.368	1.305	1.110	1.200	81	152	630
	20	18	2.420	1.368	1.305	1.200	1.630	114	179	630
	25	24	2.720	1.368	1.305	1.270	1.840	116	226	630
	30	28	3.000	1.368	1.305	1.320	1.760	189	273	630
	35	34	3.290	1.368	1.305	1.470	1.877	221	320	630
	40	38	3.570	1.368	1.305	1.490	1.960	314	348	630
	45	44	3.840	1.368	1.305	1.540	2.180	316	413	630
	50	48	4.100	1.368	1.305	1.600	2.230	319	442	630
	55	54	4.330	1.368	1.305	1.700	2.340	317	539	630
60	58	4.710	1.368	1.305	1.710	2.490	314	616	630	
Cantidad tortas (ton): 2.5 Volumen de agua (l): 8 Cálculo para un espesor de torta de 32 mm										
FPSA 837	16	14	2.420	1.368	1.375	1.930	2.260	112	156	800
	20	18	2.720	1.368	1.375	2.000	2.470	107	180	800
	24	24	3.040	1.368	1.375	2.200	2.790	142	180	800
	30	28	3.360	1.368	1.375	2.420	3.050	116	245	800
	36	34	3.700	1.368	1.375	2.590	3.260	117	344	800
	42	40	4.040	1.368	1.375	2.740	3.570	115	415	800
48	46	4.370	1.368	1.375	2.930	3.840	107	510	800	
54	52	4.680	1.368	1.375	3.100	4.120	114	596	800	
60	58	4.990	1.368	1.375	3.270	4.290	94	686	800	
66	64	5.300	1.368	1.375	3.440	4.670	103	846	800	
Cantidad tortas (ton): 7.2 Volumen de agua (l): 15 Cálculo para un espesor de torta de 32 mm										

Figura A 6: Catálogo del filtro prensa seleccionado para el proceso de deshidratación de los lodos generados durante el tratamiento del efluente. Proveedor: Toro.

TUBOS DE POLIPROPILENO

Hidro 3 Verde



CODIGO	MEDIDA	EMP.
007000035	1/2"	x 6 mts
007000040	3/4"	x 6 mts
007000045	1"	x 6 mts
007000050	1 1/4"	x 6 mts
007000055	1 1/2"	x 6 mts
007000060	2"	x 6 mts
007000065	2 1/2"	x 6 mts
007000070	3"	x 6 mts
007000075	4"	x 6 mts
007000080	5"	x 6 mts

Hidro 3 Azul



CODIGO	MEDIDA	EMP.
007000093	1/2"	x 6 mts
007000094	3/4"	x 6 mts
007000095	1"	x 6 mts
007000100	1 1/4"	x 6 mts
007000105	1 1/2"	x 6 mts
007000110	2"	x 6 mts
007000115	2 1/2"	x 6 mts
007000120	3"	x 6 mts
007000125	4"	x 6 mts
007000126	5"	x 6 mts

Hidro 3 Aluminio



CODIGO	MEDIDA	EMP.
008000005	3/8"	x 6 mts
008000010	1/2"	x 6 mts
008000015	3/4"	x 6 mts
008000020	1"	x 6 mts
008000025	1 1/4"	x 6 mts
008000030	1 1/2"	x 6 mts
008000035	2"	x 6 mts

Bicapa Tubileno



CODIGO	MEDIDA	EMP.
007000130	1/2"	x 6 mts
007000135	3/4"	x 6 mts
007000140	1"	x 6 mts
007000145	1 1/4"	x 6 mts
007000150	1 1/2"	x 6 mts
007000155	2"	x 6 mts
007000160	2 1/2"	x 6 mts
007000165	3"	x 6 mts
007000170	4"	x 6 mts

UNIFUSIÓN

Hidro 3 Unifusión



CODIGO	MEDIDA	EMP.
007000220	3/8"	x 4 mts
007000225	1/2"	x 4 mts
007000230	3/4"	x 4 mts
007000235	1"	x 4 mts
007000240	1 1/4"	x 4 mts
007000245	1 1/2"	x 4 mts
007000250	2"	x 4 mts
007000255	2 1/2"	x 4 mts
007000260	3"	x 4 mts
007000265	4"	x 4 mts
007000270	5"	x 4 mts

Hidro3
Termofusión

COVERTHOR TERMOAISLANTE PARA TUBERIAS

Coverthor Aluminio



CODIGO	MEDIDA	EMP.
008000129	3/8"	x 2 mts
008000130	1/2"	x 2 mts
008000131	3/4"	x 2 mts
008000132	1"	x 2 mts
008000133	1 1/4"	x 2 mts
008000134	1 1/2"	x 2 mts
008000135	2"	x 2 mts
008000136	2 1/2"	x 2 mts
008000137	3"	x 2 mts
008000138	4"	x 2 mts

Coverthor Blanco



CODIGO	MEDIDA	EMP.
008000139	3/8"	x 2 mts
008000140	1/2"	x 2 mts
008000141	3/4"	x 2 mts
008000142	1"	x 2 mts
008000143	1 1/4"	x 2 mts
008000144	1 1/2"	x 2 mts
008000145	2"	x 2 mts
008000146	2 1/2"	x 2 mts
008000147	3"	x 2 mts
008000148	4"	x 2 mts

Figura A 7: Catálogo tuberías de la marca Tubonor. El modelo requerido es el Hidro Verde 3.

01

TUBOS DE PVC SANITARIOS

Tubos de PVC para instalaciones sanitarias domiciliarias, redes cloacales, pluviales y de ventilación.



TUBOS SANITARIOS LÍNEA 100

CÓDIGO	DIÁMETRO (mm.)	LARGO (Mts.)	SIST. UNIÓN	PAQUETE
TS040200P	40 mm.	4 mts.	JP	10
TS050200P	50 mm.	4 mts.	JP	10
TS060200P	60 mm.	4 mts.	JP	10
TS100249P	100 mm.	4 mts.	JP	5
TS110164P	110 mm.	4 mts.	JP	5

TUBOS SANITARIOS LÍNEA STANDARD

CÓDIGO	DIÁMETRO (mm.)	LARGO (Mts.)	SIST. UNIÓN	PAQUETE
TS063STD	63 mm.	4 mts.	JP	10
TS110STD	110 mm.	4 mts.	JP	5

TUBOS SANITARIOS LÍNEA COMPACTO

CÓDIGO	DIÁMETRO (mm.)	LARGO (Mts.)	SIST. UNIÓN	PAQUETE
TS110250P	110 mm.	4 mts.	JP	5
TS160250P	160 mm.	4 mts.	JP	3 O 1
TS160256P	160 mm.	6 mts.	JP	1
TS200250P	200 mm.	4 mts.	JP	1
TS200256P	200 mm.	6 mts.	JP	1

TUBOS SANITARIOS LÍNEA PLUS

CÓDIGO	DIÁMETRO (mm.)	LARGO (Mts.)	SIST. UNIÓN	PAQUETE
TS040249P	40 mm.	4 mts.	JP	10
TS050249P	50 mm.	4 mts.	JP	10
TS060249P	63 mm.	4 mts.	JP	5
TS110254P	110 mm.	4 mts.	JP	3
TS160249P	160 mm.	4 mts.	JP	1
TS160269P	160 mm.	6 mts.	JP	1
TS200249P	200 mm.	4 mts.	JP	1
TS200269P	200 mm.	6 mts.	JP	1

www.plastiflex.com.ar



Figura A 8: Catálogo tuberías de la marca Plastiflex. Los modelos requeridos son *TS040200P*, *TS050200P* y *TS200250P*.



Catálogo Técnico
serie **TURBO**

DATOS ELÉCTRICOS Y MECÁNICOS

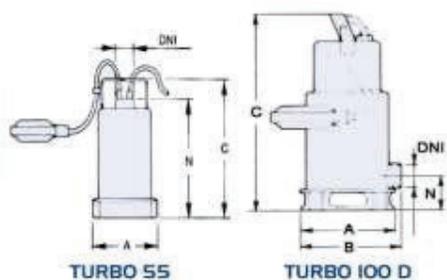
Electrical and mechanical information - Données électriques et mécaniques

Modelo Model Modèle	P ₁		I (A) 1- 230V	r.p.m	Condensador Capacitor Condensateur (µF)	Cable eléctrico Electric cable Câble électrique	Turbina Impeller Turbine	Ø Sólidos Solids Solides (mm)
	kW	CV						
TURBO 55	0,35	0,5	1,3	2900	8	10m. H05RN-F 3x0,75mm² Schuko	Abierta Open Ouverte	6
TURBO 100 D	0,75	1	2,8	2900	8	10m. H05RN-F 3x1mm² Schuko	Desplazada Displaced Déplacées	25

DIMENSIONES Y PESOS

Dimensions and weights - Dimensions et poids

Modelo Model Modèle	Dimensiones (mm) Dimensions					Peso Weight Poids (Kg)	Embalaje (mm) Packaging-Emballage		
	DNI	A	B	C	N		X	Y	Z
TURBO 55	1 1/4"	150	150	275	235	5	225	310	160
TURBO 100 D	1 1/2"	165	180	350	82	7	225	375	180



CURVAS DE CAUDAL

Curves of flow - Courbes de débit

Modelo Model - Modèles	Caudal (l/h) Flow - Débit	Altura manométrica (m) Height - Hauteur								
		8000	7500	6100	5400	4200	2700	500		
TURBO 55	l/h									
	m	1	2	3	4	5	6	7		
TURBO 100 D	l/h	13500	12700	12000	10000	8200	6500	5100	3900	1400
	m	1	2	3	4	5	6	7	8	9

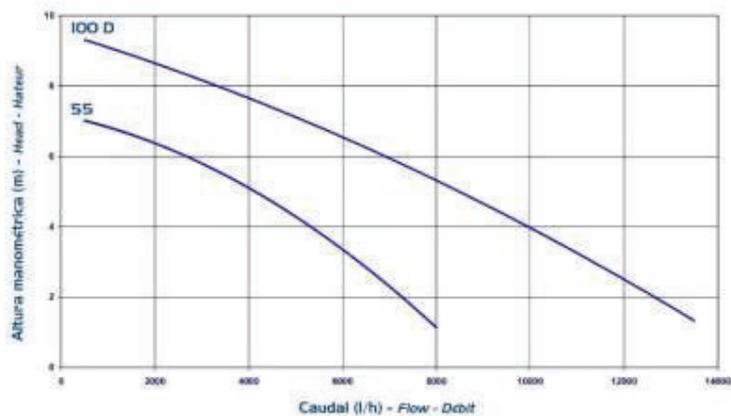
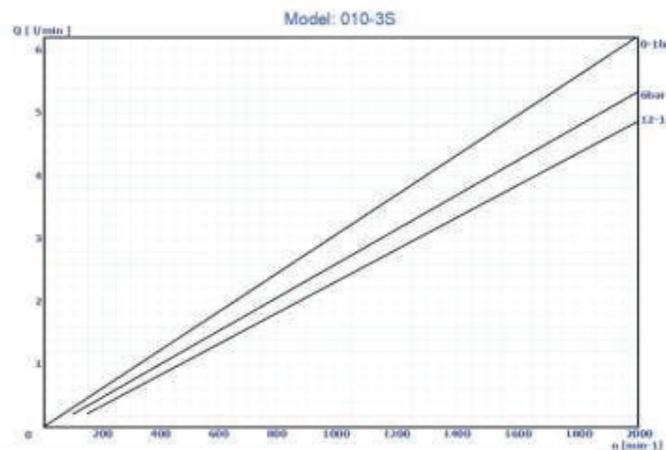
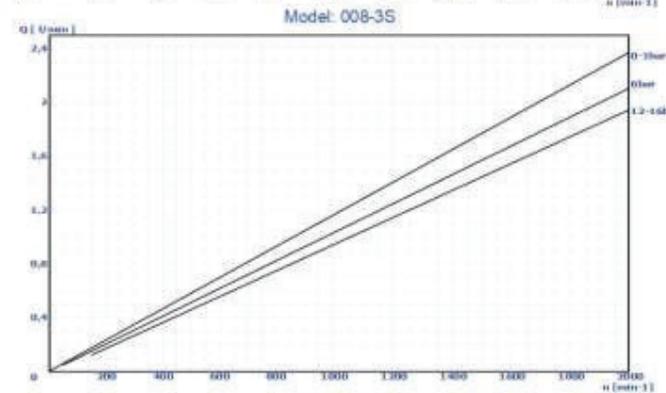
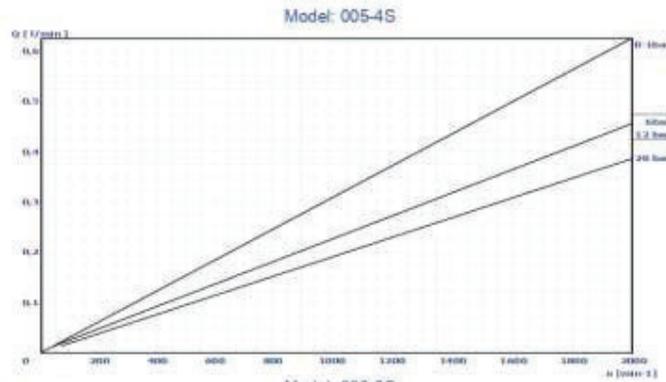


Figura A 9: Catálogo de bombas HASA, modelo Turbo para aguas residuales. El modelo requerido es el Turbo 100D.



Serie "M"

La serie M è stata progettata per il dosaggio e la misurazione di piccole quantità di fluidi, anche con viscosità molto elevate.

Caratteristiche:

- Alto grado di precisione.
- Prestazioni direttamente legate alla velocità del rotore.
- Possibilità di reversibilità della direzione di mandata.
- Disponibili 3 misure di rotor e statori diversi con la possibilità di intercambiargli.
- Deboli pulsazioni e flusso continuo
- Costruite esclusivamente in acciaio inox 316

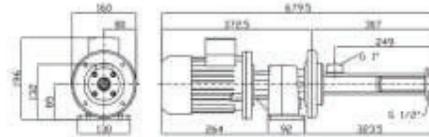
Portata: fino a 50 l/h – fino a 13 gallon/h
 Pressione: fino a 18 bar

The M series is specifically designed for dosing any kind of liquid and high-viscous matter.

Features:

- High dosing accuracy
- Capacity depending directly on the rotor speed.
- Reversible flow's direction.
- 3 Rotor and stator sizes for different dosing capacities in the same modular system.
- Low-pulsation pumping
- Completely made in Aisi 316

Capacity : up to 50 l/h - up to 13 gallons/h
 Pressure : up to 18 bar



Sydex Srl - Via Lord Baden Powell, 24 - 36045 Lonigo (Vicenza) - ITALY
 Tel. +39 0444 43 25 88 - Fax +39 0444 43 25 89
 E-mail: info@sydexpump.com - Website: www.sydexpump.com

Your local Authorized Distributor:



1982 - Mod. 002

Figura A 10: Catálogo de bombas Sydex de desplazamiento positivo Serie M. El modelo requerido es el 008-3S.

	Qdos 20	Qdos 30	Qdos 60	Qdos 120
Rango de caudal	0.1 ml/min a 450 ml/min	0.1 ml/min a 500 ml/min	0.1 ml/min a 1000 ml/min	0.1 ml/min a 2000 ml/min
Rango de caudal	0.001 USGPH a 7.13 USGPH	0.001 USGPH a 7.93 USGPH	0.001 USGPH a 15.85 USGPH	0.001 USGPH a 31.7 USGPH
Presión máx. de operación	7 bar	7 bar	7 bar	4 bar
Presión máx. de operación	100 a < bar	100 a < bar	100 a < bar	60 a < bar
Rango de temperatura ambiente	5 °C a 40 °C	5 °C a 45 °C	5 °C a 45 °C	5 °C a 45 °C
Rango de temperatura ambiente	41 °F a 104 °F	41 °F a 113 °F	41 °F a 113 °F	41 °F a 113 °F
Peso	5.7 kg	5.05 kg	5.7 kg	5.7 kg
Peso	12.6 lb	11.1 lb	12.6 lb	12.6 lb
Tipos de control	Manual, Profibus®, Remoto, Universal, Universal+			
Normas	CE, cETLus, CSA, C-Tick, Marca IRAM S, NSF 61	CE, cETLus, CSA, C-Tick, Marca IRAM S, NSF 61	CE, cETLus, CSA, C-Tick, Marca IRAM S, NSF 61	CE, cETLus, CSA, C-Tick, Marca IRAM S, NSF 61
Protección de ingreso del accionamiento	IP66, NEMA 4X	IP66, NEMA 4X	IP66, NEMA 4X	IP66, NEMA 4X
Humedad del accionamiento	80 % hasta 31 °C, 88 °F, disminuyendo linealmente a 50 % a 40 °C, 104 °F.	80 % hasta 31 °C, 88 °F, disminuyendo linealmente a 50 % a 40 °C, 104 °F.	80 % hasta 31 °C, 88 °F, disminuyendo linealmente a 50 % a 40 °C, 104 °F.	80 % hasta 31 °C, 88 °F, disminuyendo linealmente a 50 % a 40 °C, 104 °F.
Ruido	<70dB(A) a 1 m			
Ruido del accionamiento	<70 dB(A) a 1 m			
Altitud máxima	2000 m	2000 m	2000 m	2000 m
Fuente de alimentación del accionamiento	100 a 240 V CA, 50 a 60 Hz, 190 VA, 12 a 24 V CC	100 a 240 V CA, 50 a 60 Hz, 190 VA, 12 a 24 V CC	100 a 240 V CA, 50 a 60 Hz, 190 VA, 12 a 24 V CC	100 a 240 V CA, 50 a 60 Hz, 190 VA, 12 a 24 V CC

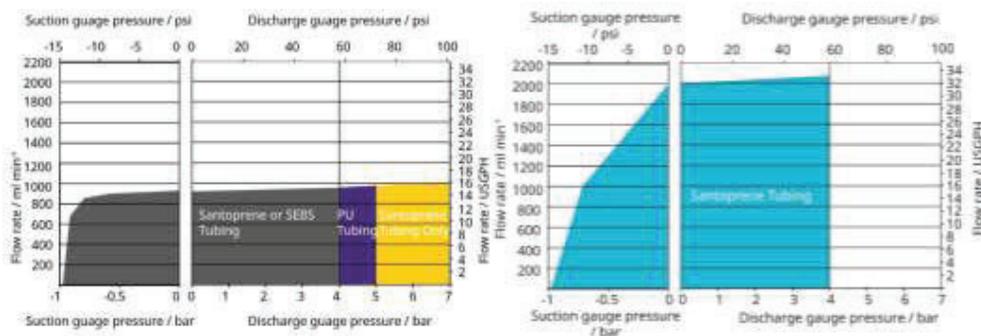
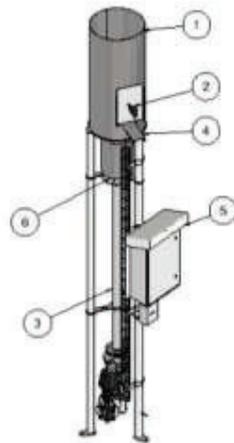


Figura A 11: Información técnica de las bombas Watson Marlow, de la serie Qdos. Los modelos requeridos son Qdos60 (gráfico de la izquierda) y Qdos120 (gráfico de la derecha).

APPLICATIONS AND SPECIFICATIONS

- Automatic or manual, cost effective combustion of biogas
- Operating pressure 5-40mbar
- Flow 0-500Nm³/h
- Special operating flow and pressure on request
- optional with blower integration



1. Flame tube / combustion chamber
2. UV sensor / flame monitor
3. Gas line
4. Electrode ignition
5. IP66 switch cabinet
6. Injector burner

Model size	Height	Diameter	Flow rate	weight	Standard connection
	mm	mm	Nm ³ /h	kg	DN
FAI 15	4000	356	Max. 15	160	15
FAI 25	4000	356	Max. 25	160	20
FAI 50	4000	356	Max. 50	180	32
FAI 75	4000	356	Max. 75	190	40
FAI 100	4000	456	Max. 100	200	50
FAI 200	4000	456	Max. 200	210	65
FAI 300	4000	456	Max. 300	230	80
FAI 400	5500	636	Max. 400	300	100
FAI 500	5500	636	Max. 500	400	125

Bilgeri EnvironTec GmbH
Burdosstr. 2, A7-674 Nußdorf
www.environtec.at

UniCredit Bank Austria AG
IBAN: A119120010029491759
BIC: SKAIA233

EORI: ATECS100008388
UID Number: ATU61602939

Tel.: +43 (0) 5078 77005
Fax: +43 (0) 5078 77005 33
Email: info@environtec.at

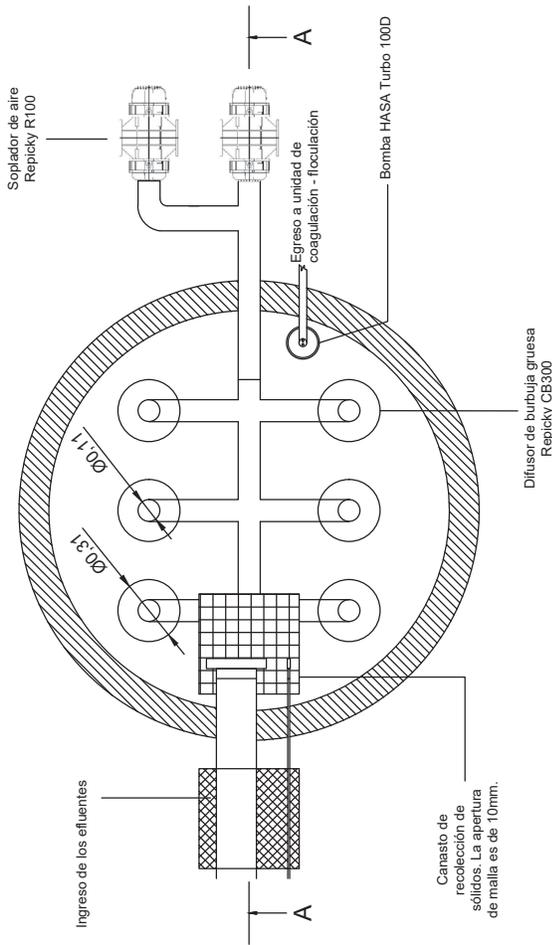
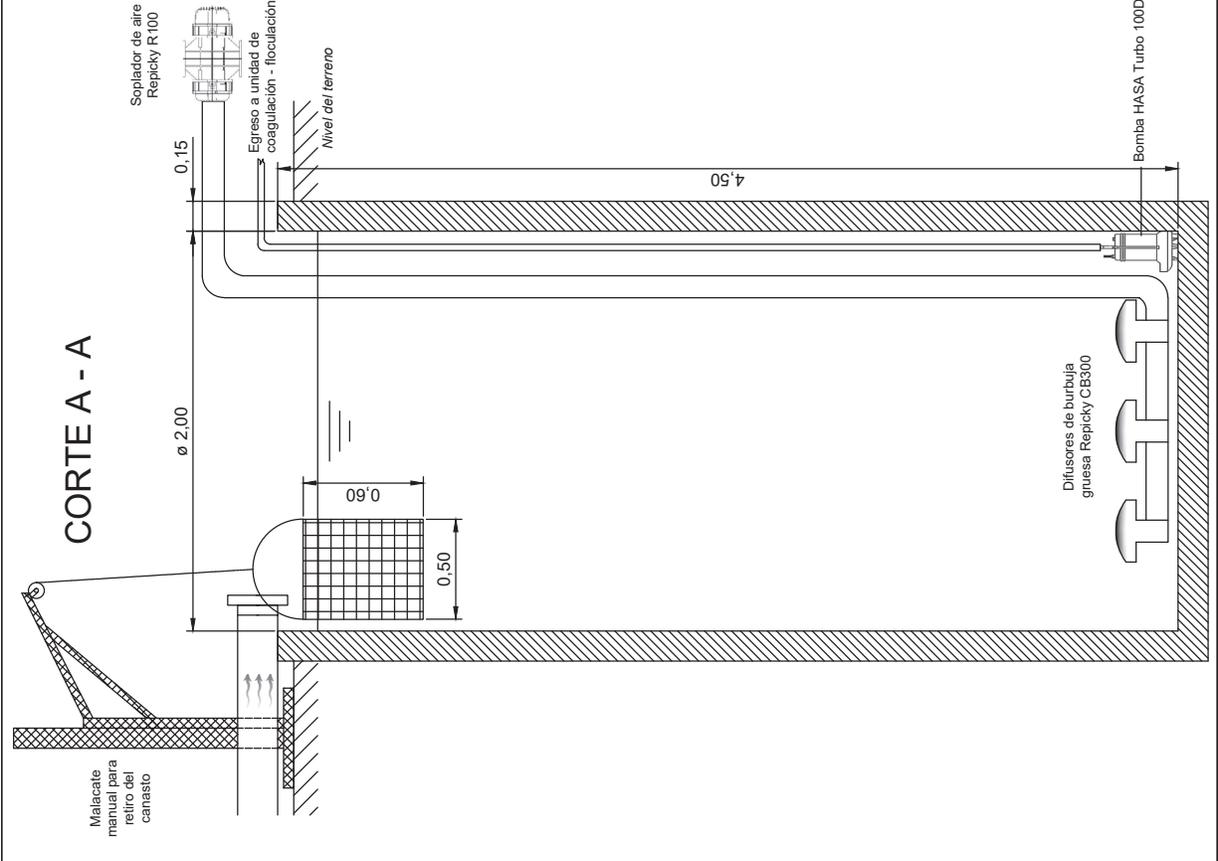
Figura A 12: Antorcha para incineración del biogás generado en la laguna anaeróbica. El modelo seleccionado es el FAI 15 y el proveedor es Environtec.

Anexo III

En el presente anexo se encuentran los planos de las unidades de tratamiento de la planta de efluentes analizada. Los mismos incluyen el detalle de cada unidad de tratamiento (vista en planta y corte) y una vista superior de la planta de tratamiento completa. Cabe destacar que:

- La malla del canasto de recolección de sólidos que se ubica en el primer plano es ilustrativa para facilitar la lectura del plano. Las dimensiones se encuentran en el capítulo de *Memoria de cálculo*.
- La unidad de coagulación - floculación que se encuentra luego del reactor biológico es idéntica a la que se encuentra previo al mismo, por lo que no se detalla en un plano separado.

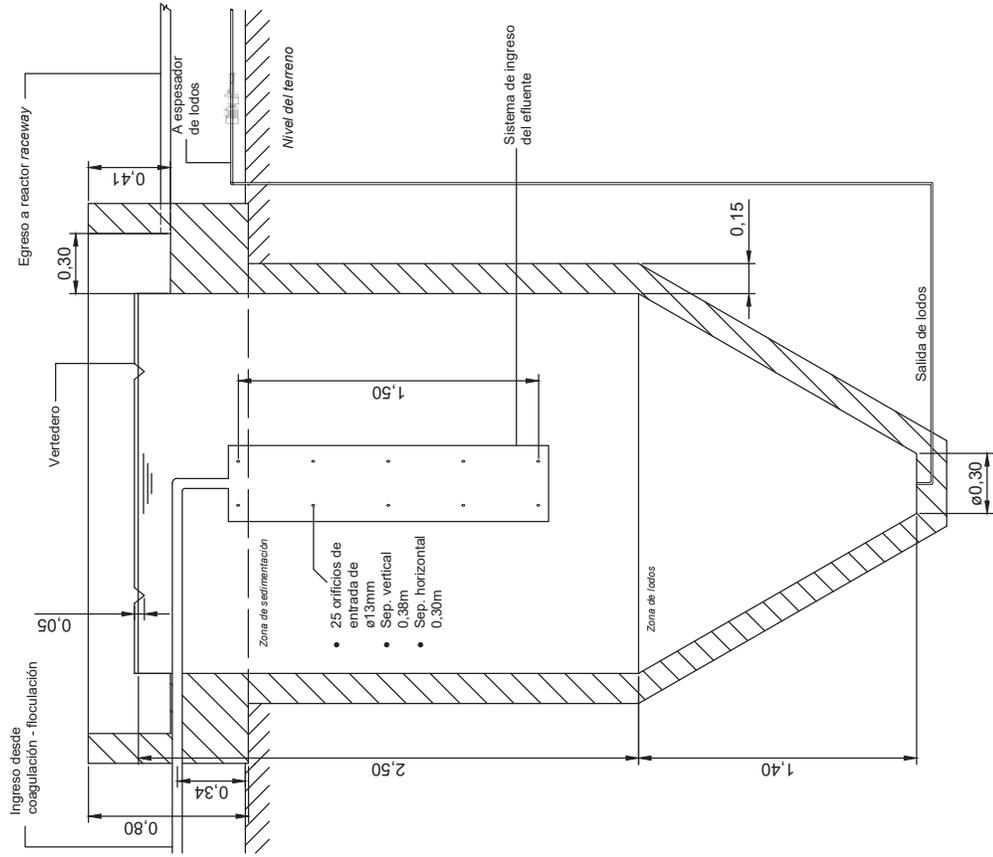
VISTA SUPERIOR



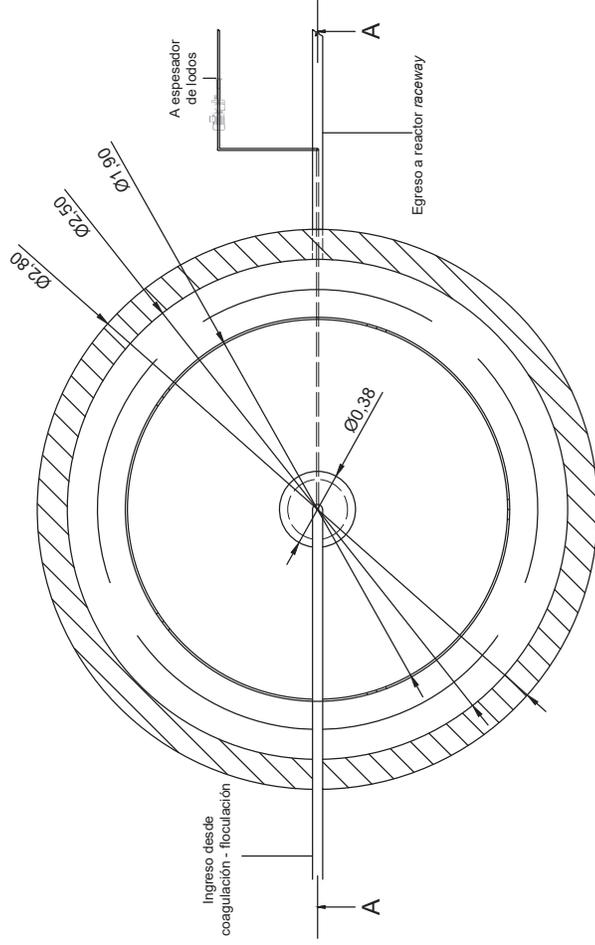
Fecha	Nombre	Diseño de una planta de tratamiento de efluentes de un tanque en la provincia de Buenos Aires
Revisó:		
Aprobó:		Ecuador y canasto de retención de sólidos
Escalá:		
		Alumno: Manuel Gómez Ros
		Carrera: Ingeniería Ambiental
		Plano N°: 01/08



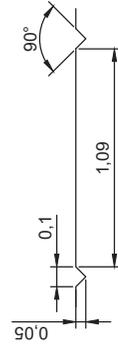
CORTE A - A



VISTA SUPERIOR



DETALLE VERTEDERO

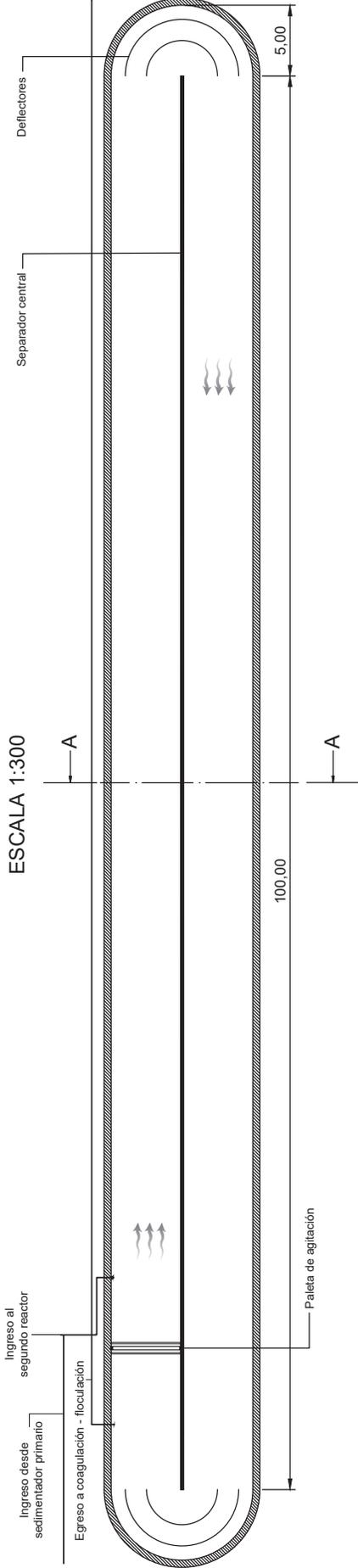


Fecha	Nombre	Diseño de una planta de tratamiento de efluentes de un tanco en la provincia de Buenos Aires
Revisó:		
Aprobó:		Sedimentador primario
Escala:		
1:25		Alumno: Manuel Gómez Ros
Plano N°:		Carrera: Ingeniería Ambiental
03/08		

Escuela de Ingeniería y Sostenibilidad
ENGLUNSAWI

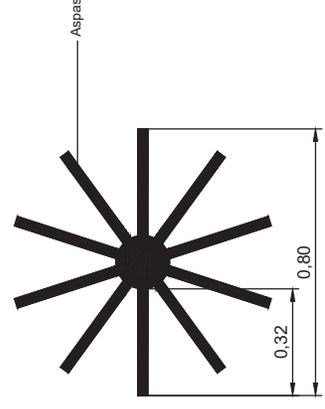
VISTA SUPERIOR

ESCALA 1:300



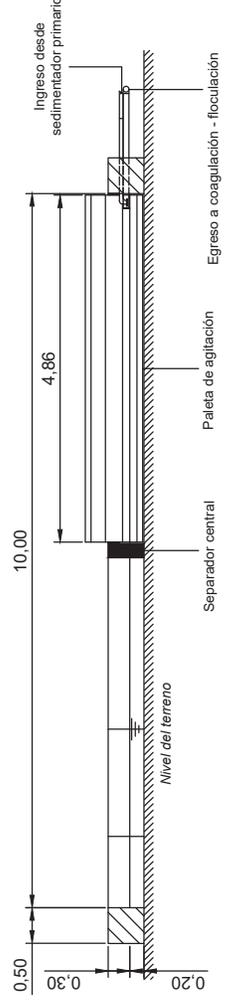
DETALLE PALETA

ESCALA 1:15



CORTE A - A

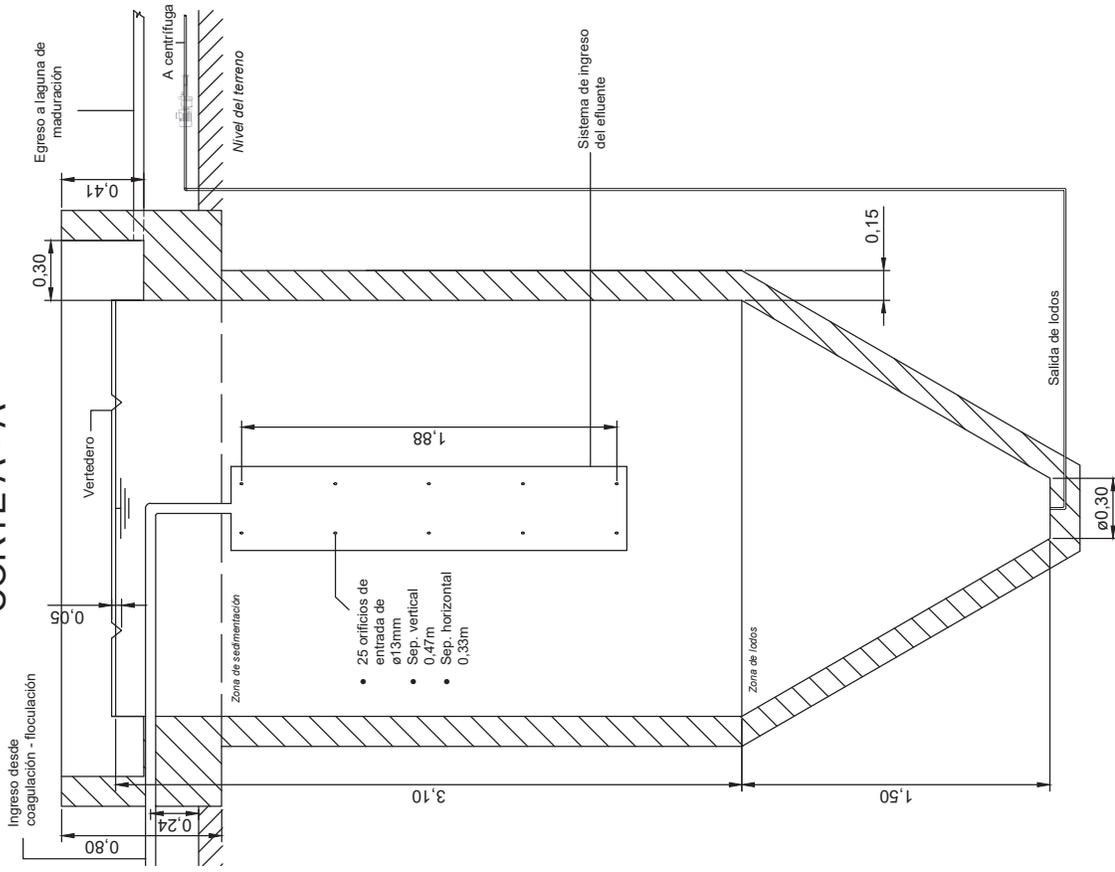
ESCALA 1:70



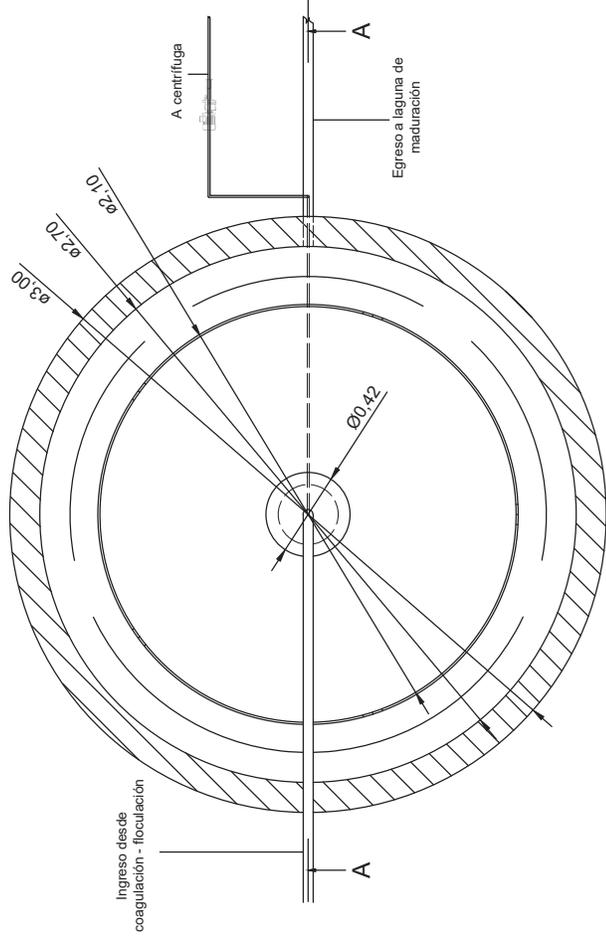
Fecha	Nombre	Diseño de una planta de Tratamiento de efluentes de un tanco en la provincia de Buenos Aires
Revisó:		Reactor biológico raceway
Aprobó:		
Escala:	VAR.	
Plano N°:	04/08	
Alumno:		Manuel Gómez Ros
Carrera:		Ingeniería Ambiental



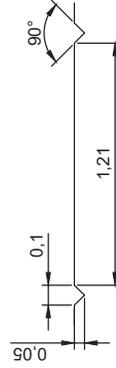
CORTE A - A



VISTA SUPERIOR

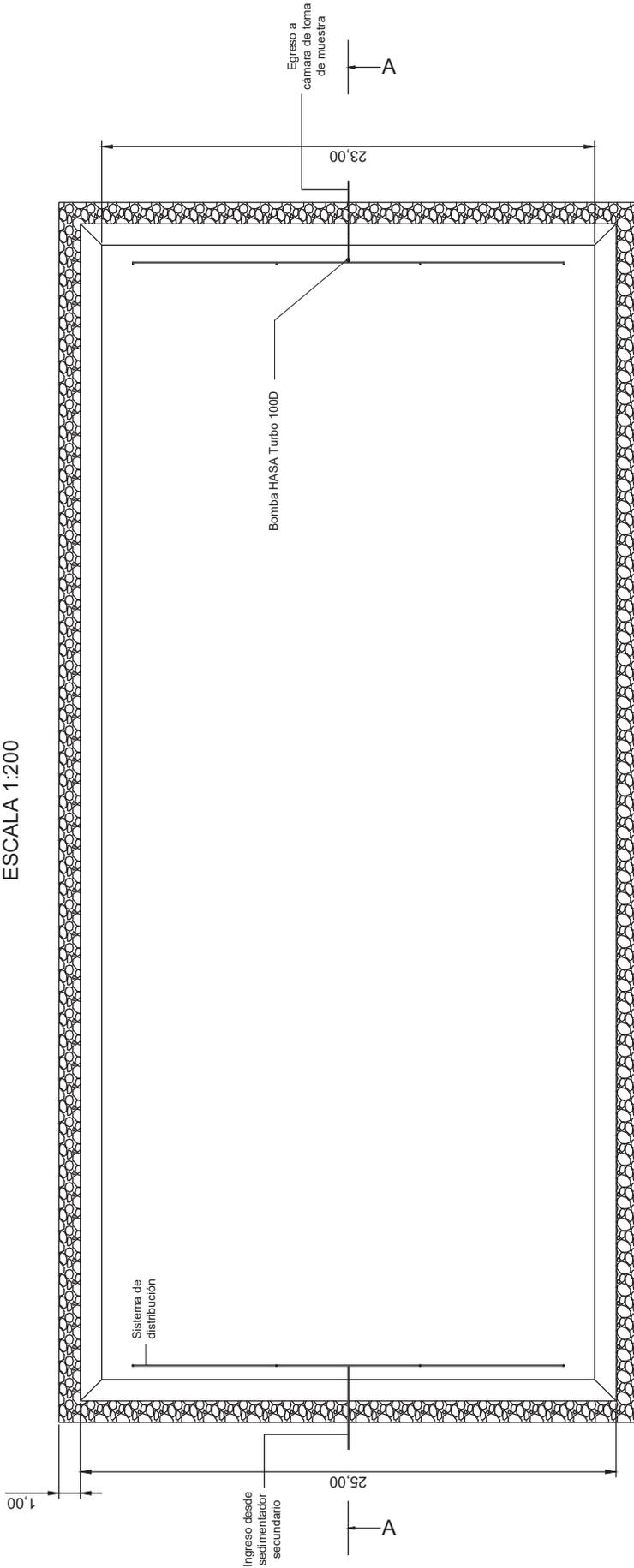


DETALLE VERTEDERO



Fecha:	Nombre:	Diseño de una planta de tratamiento de efluentes de un tanbo en la provincia de Buenos Aires
Revisó:		
Aprobó:		Sedimentador secundario
Escala:		
Alumno:	Manuel Gómez Ros	Escuela de Ingeniería y Sostenibilidad ENGSUNSAWI
Carrera:	Ingeniería Ambiental	
Plano N°:	05/08	

VISTA SUPERIOR
ESCALA 1:200

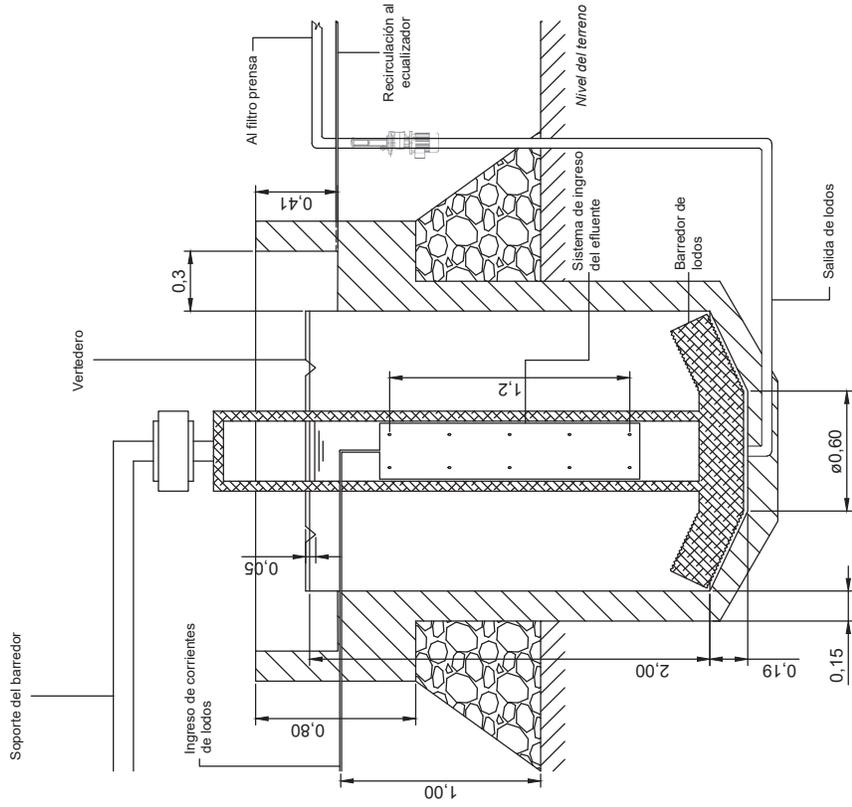


CORTE A - A
ESCALA 1:300

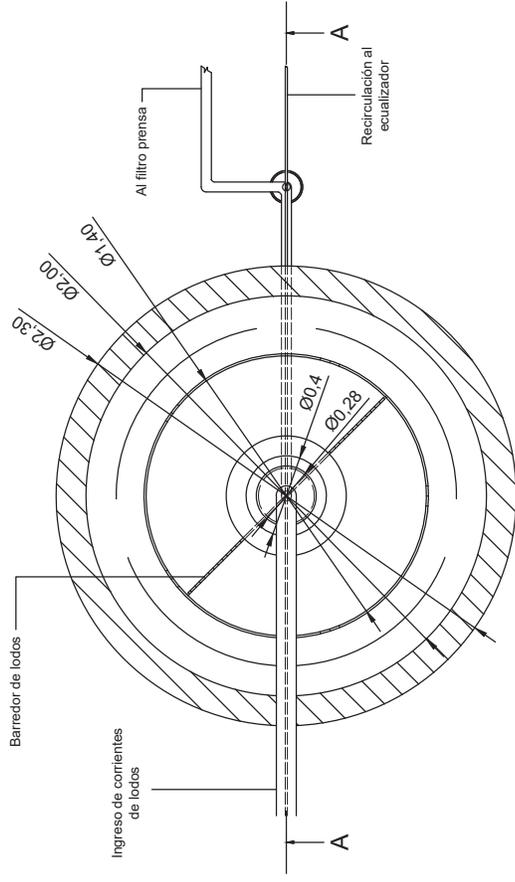


Escuela de Habitat y Sostenibilidad ENGSUNSAWI		Diseño de una planta de tratamiento de efluentes de un tanco en la provincia de Buenos Aires	
Fecha	Nombre	Laguna de maduración	
Revisó:		Alumno: Manuel Gómez Ros	
Aprobó: Escala:		Carrera: Ingeniería Ambiental	
VAR:		Plano N°: 06/08	

CORTE A - A

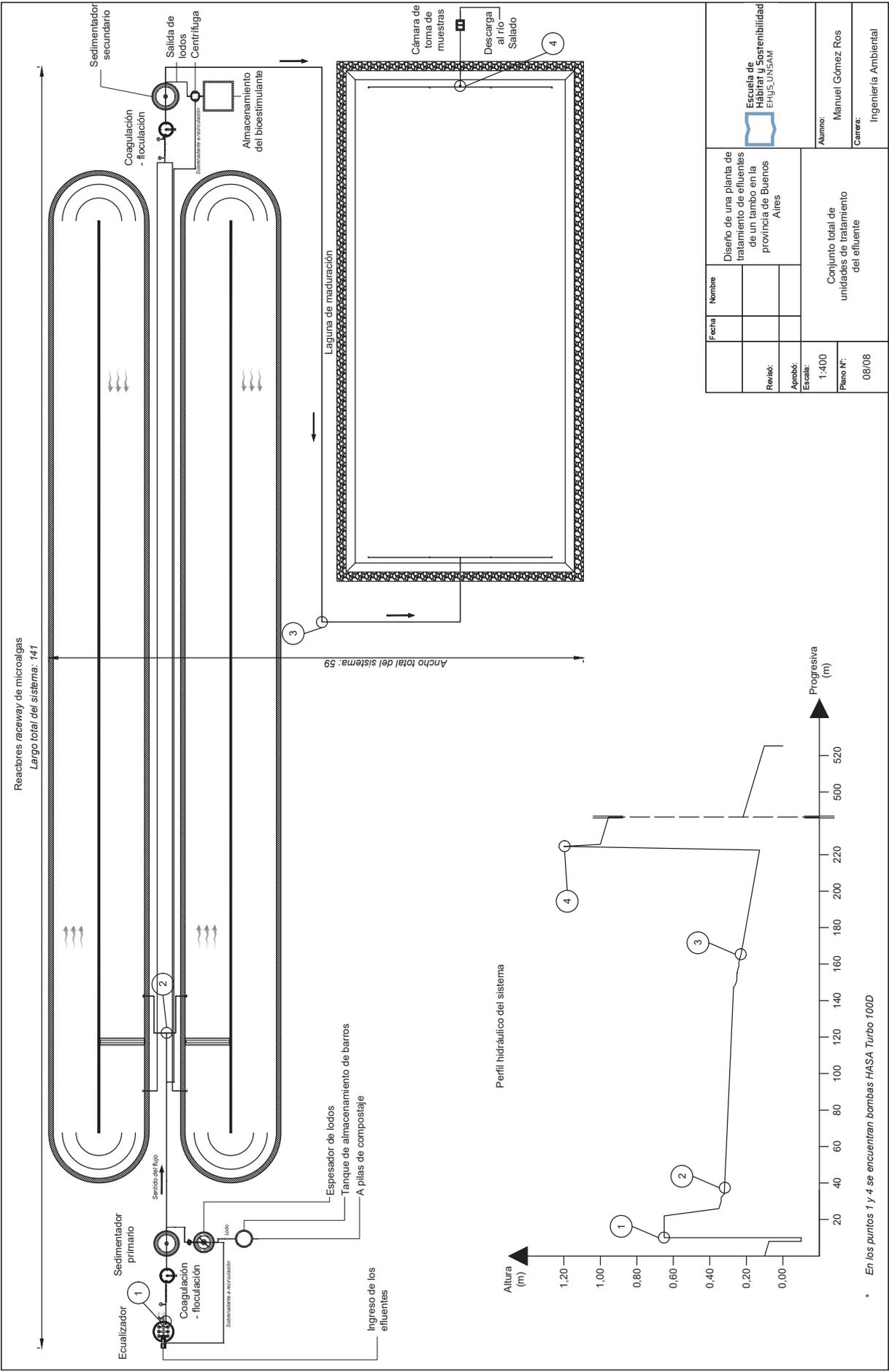


VISTA SUPERIOR



Fecha:	Nombre:	Diseño de una planta de tratamiento de efluentes de un tanco en la provincia de Buenos Aires
Revisó:		
Aprobó:		Espesador de lodos
Escaló:		
1:25		Alumno: Manuel Gómez Ros
Plano N°:		Carrera: Ingeniería Ambiental
07/08		





Fecha	Nombre	Diseño de una planta de tratamiento de efluentes de un tanque en la provincia de Buenos Aires
Revisó:		Escuela de Hábitat y Sostenibilidad ENGSUNSAWI
Aprobó:		
Escala:	1:400	
Plano N°:	08/08	
Alumno:		Manuel Gómez Ros
Carrera:		Ingeniería Ambiental

Conjunto total de unidades de tratamiento del efluente